

青海省共和 7.0 级地震形成机制再研究

许勤¹, 涂德龙²

(1. 西宁市地震局, 青海 西宁 810000; 2. 青海省地震局, 青海 西宁 810001)

摘要: 分析了龙羊峡水库区的地质、水文条件, 研究了 1990 年共和 $M_s 7.0$ 地震与龙羊峡水库蓄水过程的关系. 结果表明, 龙羊峡水库的蓄水过程和水位变化与共和地震序列主震和强余震的时间分布、前兆场变化、形变场变化和测震学指标的变化呈对应关系, 与国内外典型水库震例相似, 说明共和 7.0 级地震为龙羊峡水库诱发作用所致, 属于诱发型构造地震.

主题词: 青海; 地震成因; 龙羊峡水库; 共和地震

中图分类号: P315.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2000)03-0279-05

0 引言

1990 年 4 月 26 日共和 7.0 级地震发生以来, 先后有众多学者对该次地震的地质构造背景、地震活动环境、前兆变化和发生机制进行了详细的研究. 然而对该次地震的成因至今还没有达成共识.

共和盆地内的地震活动水平在有仪器记录以来是相当低的, 在 1990 年以前, 没有发生过一次 6 级以上地震. 1972~1980 年盆地内共发生 $M_L \geq 2.0$ 地震 11 次, 最大地震为 $M_L 3.6$, 小震年平均发生率为 1.2 次, 与青海省的平均地震活动水平相比也是相当低的. 因此, 有不少学者认为, 共和地震可能与龙羊峡水库的蓄水诱发作用有关^{①, [1-3]}.

本文在充分收集和 research 前人给出的资料的基础上, 以地震宏观考察工作取得的大量基础资料为依据, 进一步研究了共和 7.0 级地震及其后期强余震与龙羊峡水库蓄水诱发作用的关系.

1 共和盆地区域构造特征及龙羊峡水库区的水文地质条件

龙羊峡水库位于第三纪以来形成的共和盆地之中. 虽然晚第四纪以来该盆地内地震活动水平较低, 但是, 其周围却是强震活动频繁发生地带.

盆地的北界和南界分别是青海南山—康乐—天水断裂带和库赛湖—玛曲断裂带, 二者均是规模宏大的区域性深大断裂带. 全新世以来, 沿库玛断裂带的地震活动最为强烈, 多次发生 7 级以上地震, 如 1902 年发生在秀沟附近的 7 级地震、1937 年托索湖 7.5 级地震和 1963 年洪水川 7 级地震等. 青海南山—康乐—天水断裂带在盆地边缘一带, 近期虽没有发生过较大的地震, 但在其东段的康乐、和政及天水一带发生过较强的地震.

收到日期: 2000-02-16

作者简介: 许勤(1960—), 女(汉族), 青海乐都人, 工程师, 现任西宁市地震局局长.

① 兰州地震研究所震源物理研究室. 龙羊峡地区地壳稳定性研究[C]. 1986.

共和盆地东西二侧的 NNW 向岗察寺断裂带和鄂拉山断裂带控制着新第三纪以来盆地的发育. 其次级断裂带形成分割盆地内次级隆凹变形区的地貌边界. 这充分反映了该盆地第三纪以来主要受 NE—NEE 方向的区域应力场作用^[1]. 在盆地边缘到处可见老岩层逆冲于第三系或下更新统之上.

龙羊峡水库大坝位于共和盆地北缘的基岩山体上, 库区位于盆地内. 其强大的坝体和库容所产生的静压力有助于盆地北缘与中部地块的稳定性, 但其承载体受强大的荷载而呈下降的运动趋势, 势必对库区 SW 边缘和 NW 向分布的断裂带的北盘产生拉张作用, 使得断面闭合系数减低, 水就有可能渗入断面, 使断面弱化. 当被弱化的断面的孔隙压力提高后, 会在 NE 向区域应力场作用下产生持续的应变传递过程, 改变盆地原有的应力平衡条件, 促使应力快速向震中积累而发生强震. 由于共和盆地是处在高强度水平力作用下的相对稳定的构造块体, 一旦应力失控其所释放的能量显然比其它水库区所释放的能量要高, 所发生的地震的震级要大.

从图 1 可以看出, 龙羊峡水库区位于呈 NE 向分布的黄河河谷之中. 从该河段不正常的转向及其延伸方向的构造显示来看, 显然该段河谷表现出剪张性断层的特征.

共和地震震中位于盆地南缘凹陷内. 该凹陷及其二侧控制断层大约在中更新世时期仍持续活动, 凹陷内沉积了中更新世早期冰碛和冰水堆积地层. 晚更新世以来, 在区域应力场作用下, 受 NNW 向隆拗构造的复合叠加作用, 共和盆地及其南缘凹陷的控制断层均处于稳定状态^[3].

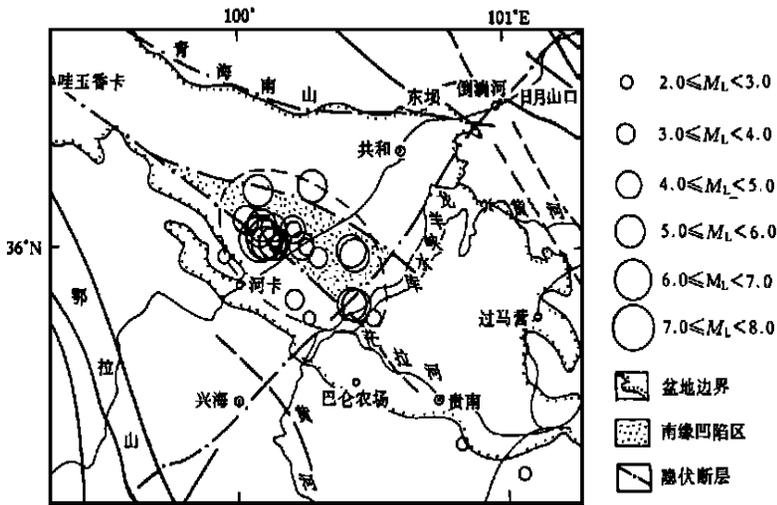


图 1 共和地震序列 $M_L \geq 2.0$ 地震空间分布及震区地质构造

Fig. 1 Distribution of $M_L \geq 2.0$ earthquakes in sequence of the Gonghe $M_s 7.0$ earthquake and geological structure in the seismic region.

共和盆地南缘凹陷及其二侧控制断层与黄河 NE 向剪张性断层的交汇部位, 目前在龙羊峡库区的蓄水范围以内, 凹陷内较厚的第四系松散堆积和 NE 向断裂成为库水的渗透通道. 当水渗入到凹陷二侧的控制断层以后, 就促使断面弱化从而形成断层运动的调整单元, 并持续不断地通过应变传递的方式, 使断层锁住地段 (NNW 向隆拗构造带与 NW 向断层复合部位) 迅速地产生应力集中, 从而发生强震. 对于共和地震来说, 水库诱发的条件仅与断层与水库交汇部位是否被弱化以及在库缘或库区以外的断层是否存在能量集中的构造部位有关. 因此虽然主震震中距水库约 40 km, 但是由于库区周围存在上述条件, 仍然可以认为该次地震为诱发构造地震. 从共和 7.0 级地震及其强余震分布不难看出, 共和地震序列严格受盆地南缘凹陷及

二侧断层的控制. 强余震活动具有明显的向库区方向迁移的特征.

2 共和地震与龙羊峡水库蓄水过程的关系

2.1 共和地震前兆与水库蓄水过程的关系

水库诱发构造地震的前兆异常大多具有与水库蓄水过程同步、异常出现时段相对集中和分布范围小的特点. 共和地震前出现的30项异常中, 除塘格木地温始于1979年和海晏地温始于1984年外, 其余28项前兆异常出现的时间均集中在1987~1990年, 与水库蓄水的时间进程相一致^[4, 5].

2.2 共和地震形变场与水库荷载的对应关系

中国地震局第二地形变监测中心在共和7.0级地震发生后一个月进行了地形变复测. 发现在宏观震中的NE侧形成了一个长轴为NW向, 长40 km、短轴长30 km的隆起区, 隆起幅度高达345 mm. 隆起区二侧为相对下沉区, 最大下沉幅度为45.2 mm. 巩守文等推算, 在共和7.0级地震之前就存在着一个最大上升幅度为100 mm的隆起区^[6]. 根据相邻地区跨断层形变资料、地震前兆起始时间和地震活动增强时间推测, 震前形变隆起始于1987年初是比较合适的, 这也就是龙羊峡水库开始正式蓄水的时间.

该次地震前形变场的变化与中国丹江口水库区1976年11月29日发生的4.7级地震的形变场十分相似. 1967年该水库蓄水后, 随着水位持续上升, 1970年冬水准复测资料显示, 水库库尾地带的宋湾地区地面出现不正常的隆起, 但尚不够明显. 1973年冬, 水位上升至155 m高程, 该地区地壳明显隆起, 4.7级地震就发生于异常隆起的NE缘^[7]. 然而对于共和地震更具有特殊意义的现象是, 1991年5~6月进行的震后第2期水准复测结果表明, 在原隆起中心的NE方向6 km处, 在1年时间内又形成一个更大范围的快速隆起区, 其最大上升幅度为63.5 mm. 这表明, 与共和主震形成过程相伴生的地形变隆起并没有随主震能量的释放而减弱. 这就意味着共和地震并不完全受区域应力场的制约, 很可能与龙羊峡水库的荷载有关.

2.3 与龙羊峡水库蓄水过程有关的共和地震的一些特征

水库诱发地震的 b 值、波速比异常、主震与最大余震的震级比、前震和余震的时间分布、地震序列衰减系数等与天然地震存在差异. 古普塔等人^[8]的研究表明, 与水库有关的地震序列的 b 值多大于1, 其前震 b 值高于余震 b 值, 而且同时都高于天然地震的 b 值. 另外, 水库诱发地震的 $(M_0 - M_1)$ 值小, 而 M_1/M_0 值高, h 值也较低.

到目前为止, 虽然有共和地震的前震序列 b 值高的报道, 但还没有确实的资料表明前震和余震序列的 b 值高于正常地震的 b 值, 但主震与最大余震的震级差 $(M_0 - M_1)$ 值为0.8^②, 主震与最大余震震级的比值 M_1/M_0 为0.88, 与印度柯伊拉水库地震的相应的值(0.8和0.83)和新丰江水库地震的相应的值(0.9和0.87)相近. 据作者等人的最新研究, 共和7.0级地震前的波速比异常区的平面分布近似呈一个长轴为NE向的椭圆, 大致与库区的延长方向和区域主张应力轴方向一致, 最大异常值为1.57, 低于理论值1.70, 说明库区介质的泊松比较小, 岩石的整体性差, 存在着许多裂隙, 具备诱发地震的地质构造条件. 共和地震就发生在该异常区内靠近中心的部位^③.

2.4 龙羊峡水库水位变化与共和地震的对应关系

据前人研究, 水库水位变化与地震发生的频度和强度具有明显的对应关系, 最大地震均出

② 根据青海地方台网震级强度推算.

③ 西宁市地震局. 西宁及邻近地区地震波特征的研究和地震趋势预测[J]. 1998.

现在水位峰值之后, 印度的柯伊拉水库及中国新丰江水库的地震活动都符合上述规律.

龙羊峡水库地震活动与上述水库地震活动非常相似. 1981 年~1986 年 12 月拦洪蓄水的阶段, 弱震活动与水位变化明显相关. 在这个时期共和盆地及其周边地区 $M_L \geq 2.0$ 地震的年发生率为 5.5 次, 高于蓄水前 10 年间每年 5 次的地震活动水平. 最为明显的是盆地内地震年发生率为 2.5 次, 高于蓄水前每年 1.2 次的地震活动水平. 蓄水还引发了大坝附近大量的弱震活动, 形成了蓄水后小震活动的第一个密集区.

龙羊峡水库自 1987 年正式蓄水, 1989 年 11 月达到峰值水位 2 576 m. 之后水位呈振荡下降. 至 1992 年 5 月完成了第 1 个蓄水峰值期. 在该峰值期内, 共和盆地内共发生 $M_L \geq 2.0$ 地震 87 次, 峰值前期在库区 SW 约 70 km 处的鄂拉山断裂上的温泉一带发生了以 $M_L 5.0$ 地震为主的震群活动, 共发生 2 级以上地震约 40 次, 同时在水库的 NE 方向的大坝周围地区的地震活动亦有所增强, 共发生 $M_L \geq 2$ 地震 11 次, 最大地震震级达 3.4 级. 在水位达到峰值之后 5 个月, 也就是在水位持续下降过程中发生了共和 7.0 级主震和 4 次 5.0 级以上强余震.

1992 年 6 月~1995 年 7 月为龙羊峡水库水位第 2 个峰值期, 水位达 2 578 m. 在此时段内, 大坝周围及温泉一带的地震活动水平明显减弱或平静, 在水位达到峰值之后 2 个月, 即在水位缓慢下降过程中, 在共和地震主震区内形成了第 2 次地震活动高潮, 共发生 $M_L \geq 2$ 地震 18 次, 其中 $M_L \geq 5$ 地震 7 次, 最大地震为 1994 年 1 月 3 日的 $M_L 6.3$ 地震.

从上述地震活动与水位变化的对应关系不难看出, 在龙羊峡水库正式蓄水后不到 10 年的时间内, 在一个原本地震活动水平较低的区域地震频度明显增高, 甚至发生 $M_S 7.0$ 地震, 这不是偶然的.

3 结语

综上所述, 可以认为, 1990 年共和 $M_S 7.0$ 地震的发生与龙羊峡水库蓄水过程有关, 是水库诱发作用所致, 属于诱发型构造地震.

青藏高原地区水库诱发地震研究目前仍处在空白阶段. 随着黄河上游梯级水库电站的开发利用和南水北调西线工程的提前实施, 研究水库诱发地震特征对该区域的水利建设及西部大开发是非常重要的.

本文的研究还存在许多不足之处, 希望通过本文引起人们对高原地区水库地震研究的重视.

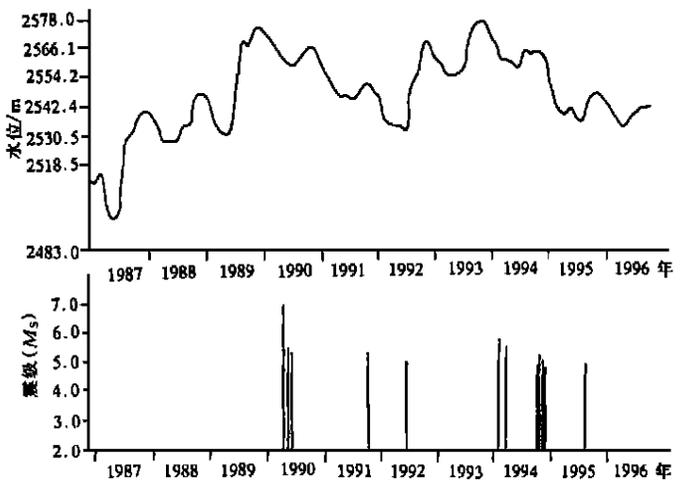


图 2 共和地震序列 ($M_S \geq 5.0$) 与水位变化

Fig. 2 Sequence of the Gonghe earthquake ($M_S \geq 5.0$) and variation of water level of the Longyangxia reservoir.

- [1] 涂德龙. 1990 年 4 月 26 日共和 6.9 级地震的构造环境及形成原因[J]. 高原地震, 1992, 4(3): 15—22.
- [2] 夏玉胜, 孙洪斌, 常振广. 龙羊峡周围地区地壳应力场及地震危险性探讨[J]. 高原地震, 1994, 6(4): 33—38.
- [3] 涂德龙. 1990 年 4 月 26 日共和 6.9 级地震的地质构造背景[J]. 高原地震, 1990, 2(3): 15—20.
- [4] 马文静. 1990 年 4 月 26 日共和 6.9 级地震前兆异常综合分析[J]. 高原地震, 1990, 2(3): 39—46.
- [5] 马文静, 苏旭, 张雅玲. 1990 年 4 月 26 日共和 6.9 级地震前兆异常特征研究[J]. 高原地震, 1996, 8(3): 37—44.
- [6] 巩守文, 林继华. 共和 7.0 级地震垂直形变场位错模式及其演化特征研究[J]. 地震学报, 1993, 15(3): 289—295.
- [7] 甘家思. 水库蓄水诱发强震应力调整效应[A]. 见: 中国诱发地震研究[C]. 北京: 地震出版社, 1984. 22—29.
- [8] 古普塔 H K, 拉斯托吉 B K. 水坝与地震[M]. 王卓凯译. 北京: 地震出版社, 1980.

RE STUDY ON THE GENESIS FOR THE 1990 GONGHE $M_S7.0$ EARTHQUAKE, QINGHAI PROVINCE

XU Qin¹, TU De-long²

(1. *Seismological Office of Xining City* 810000, China;

2. *Seismological Bureau of Qinghai Province, Xining* 810001, China)

Abstract: Geological and hydrological conditions of Longyangxia reservoir region are analysed. Relationship between the Gonghe $M_S7.0$ earthquake, 1990 and water storage process of the reservoir is studied. The results show that distribution of main shock and strong aftershocks in Gonghe $M_S7.0$ earthquake sequence with time, changes of precursory field, deformation field and some seismometry indexes are related to the water storage process and change of water level of the reservoir, being similar to typical reservoir earthquakes. It is proved that the Gonghe $M_S7.0$ earthquake is induced by the Longyangxia reservoir and is an induced tectonic earthquake.

Key words: Qinghai; Seismogenesis; Longyangxia reservoir; Gonghe earthquake