由龙羊峡库区无线遥测地震台网资料初步探讨青海共和地震成因

赵仪全 姚同福 刘凤祥 雷 芳

(国家地震局兰州地震研究所,兰州 730000)

摘要 1990年青海共和7.0级地震是构造地震还是水库蓄水诱发地震?黄河上游龙羊峡水库周围地区的无线遥测地震台网在8年运行中记录了丰富的地震资料,共和地震后就记录到余震8,145个,为上述问题的研究积累了丰富的资料和数据。近来,特别是1994年,5.0级以上地震在这一地区呈增多趋势。因此,龙羊峡水库周围是值得地震研究人员密切注视和研究的地区。

主题词: **地震序列** **地震成因** **遥测台网** 龙羊峡水库 共和地震

1 前言

龙羊峡水库位于青海省共和县境内,黄河上游龙羊峡入口处。设计坝高178 m,主坝长600 m以上,坝顶宽839 m,库容量268亿m^3。从水库大坝至库尾的回水点尕玛羊曲,库长超过100 km,是目前黄河上游梯级开发利用水资源的较大型水库。这样大型的水库,大坝的安全极为重要。因此,水电部西北勘测设计院委托兰州地震研究所组建青海龙羊峡库区无线遥测地震台网,目的在于监测水库及其周围地区的地震,为大坝安全提供决策依据。

1990年4月26日青海共和7.0级地震是构造地震还是水库蓄水诱发地震?要回答这一问题就需要真实而又可靠的资料和数据。龙羊峡库区无线遥测地震台网运行8年来,记录到了连续而又可靠的地震资料。青海共和地震后,记录到余震8,145个。本文简单介绍了台网的建设及其检测能力和效果,并根据建网以来的记录资料初步探讨了共和地震的成因。

2 龙羊峡库区无线遥测地震台网

2.1 台网的选址条件

无人值守的无线遥测地震台网与有人值守的常规台站的选址条件有所差别。前者须同时满足下述条件:

第一,传输通道条件。传输通道是指无线遥测地震点与信号接收中心间电波传输的通路。电波传输的质量与传输通道的畅通程度有关。传输通道内高山或建筑物太多将影响载波信号的质量。严重时,载波信号大幅度衰落。传输载频越高对传输通道要求越严;微波传输时,则要求传输通道必须在视距以内。

第二,微震观测条件。对无线遥测地震台网来说,要求它的地震检测能力在M_L1.0左右,即能记录到台网及其周围地区的微弱地震。显然,检测的地震越小,则地震遥测点在系统

中的放大倍数越高。因此，遥测地震台台址的地质条件和周围环境尤为重要。根据有关规定，台基应选择在完整的并有大面积出露的基岩上，岩性要坚硬致密……，要求无风化和无破碎夹层，不宜在卵石和砂土层上选台，而且周围的干扰要少。

龙羊峡水库及其周围地区的状况是：有基岩出露的地方，传输通道内有高山阻挡，而且相对高差较大；传输通道较畅的地方，又很难找到出露的基岩，周围多数是黄土、黄沙覆盖的塔垃台地和戈壁滩。

2.2 台网的地理环境

龙羊峡水库及其周围地区的地理环境是：北面有青海湖南山、瓦里贡山，南有河卡—贵南南山，东有日月山、拉脊山。水库为黄河谷地。瓦里贡山海拔约4,000 m，谷地海拔约2,500 m，形成相对高差为1,500 m左右的深切峡谷，这里山川相间，沟壑纵横。

龙羊峡水库呈长轴状，大坝建在龙羊峡入口处。水库大坝至库尾的回水点尕玛羊曲，全长100 km以上。黄河水的流向在龙羊峡入口处转折，尕玛羊曲至大坝为南北流向，大坝以东转为东西流向，流入甘肃省境内。青海龙羊峡库区无线遥测地震台网就建在水库周围地区。

2.3 台网的组成

龙羊峡库区无线遥测地震台网经建设和优化改造后，它的组成和布局示于图1。原建的地震台有：瓦里贡台(N36° 14′、E100° 54′)、过马营台(N35° 52′、E101° 10′)、娃彦山台(N35° 50′、E100° 16′)和千卜禄寺台(N36° 22′、E100° 28′)。曲沟无线中转点将娃彦山台的信号中转至接收中心。后来又优化建设了龙羊峡台(N36° 08′、E100° 54′)、曲沟台(N36° 12′、E100° 40′)和查纳台(N36° 07′、E100° 52′)。台网的信号接收记录中心设在水库大坝北侧电厂宿舍楼内(N36° 08′、E100° 55′)。

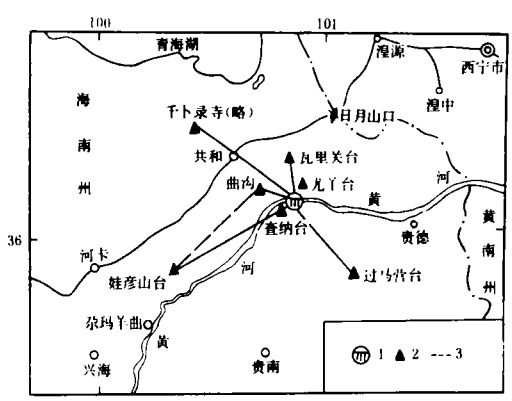

图1 龙羊峡库区无线遥测地震台网布局

1 水库大坝接收中心 2 地震遥测点 3 中转线路

Fig. 1 The telemetric seismic network around the Longyangxia reservior.

无线遥测点安装有768短周期拾震计、768—11单路无线发射机和WW—1钟控标定器。接收中心安装有768—11单路无线接收机、768六笔记录器和自动对时数字钟。地震发生时产生的地震波掠过每一个地震遥测点，拾震计通过机电换能输出超低频信号，由768—11发射机放大和调制后传回台网中心。768—11接收机把接收来的信号解调和滤波后还原为超低频地震信号，再送往768六笔记录器，绘出可见记录地震图。由于采用自动对时的时间服务，钟差几乎为0，从而提高了地震速报定位的精度。地震遥测点安装的标定器，每日定时对遥测系统进行动态标定，以检查遥测系统的稳定度和精度。

2.4 台网的监测能力和效果

龙羊峡库区无线遥测地震台网各遥测点的放大倍率在几万至十几万倍之间。根据综合参数分析确定，台网能够检测水库及其周围地区M_L1.2的地震，达到了设计要求。台网在试

运行期间的 1987 年 9 月 3 日 01 时 20 分就曾记录到瓦彦山台西北的 1.0 级地震。

龙羊峡库区无线遥测地震台网 1987 年 7 月—10 月的测震目录表明了台网的监测效果(见表 1)。从表中可以看出，台网的测震效果和测震精度是比较理想的。特别是在台网的验收会议期间，1987 年 10 月 16 日 06 时 30 分 14.1 秒，台网记录了甘肃扁都口西的 2.3 级地震。经速报分析人员处理后，与兰州地震台网速极组处理结果核对，震源参数基本一致。

表 1　1987 年 7—10 月龙羊峡台网的测震目录

编号	发震时间				震中位置			震级	精度
	月　日	时	分	秒	北纬	东经	地　点		
01	07—09	05	29	18.4	36° 07′	101° 23′	青海过马营东北	1.4	A
02	07—15	21	43	39.6	34° 13′	102° 58′	甘肃迭部西	2.6	A
03	07—17	01	36	47.8	35° 42′	101° 22′	青海过马营东南	2.5	A
04	08—10	07	19	15.8	36° 18′	98° 35′	青海都兰东	2.3	A
05	08—24	22	59	51.6	35° 09′	98° 50′	青海花石峡	1.4	B
06	09—03	01	20	59.7	35° 58′	100° 13′	青海瓦颜山西北	1.0	B
07	09—06	09	16	34.7	35° 43′	99° 16′	青海花石峡东北	2.1	B
08	09—24	13	55	4.5	36° 34′	101° 00′	青海门源西南	1.5	B
09	09—28	06	42	56.7	37° 25′	183° 04′	甘肃古浪东	2.3	B
10	10—16	06	30	14.1	38° 15′	100° 35′	甘肃扁都口西	2.3	B

3　青海共和地震成因探讨

3.1　龙羊峡水库及其周围地区的地质结构

作者在建设龙羊峡库区无线遥测地震台网的工程中曾参阅了有关资料并实地踏勘了青海省共和县境内龙羊峡水库及其周围地区的地形、地貌和地质构造，整理结果示于图 2。

从图中可以看到，水库大坝西侧有印支地斜褶皱断裂带，以北西—南东方向横穿水库，几乎与大坝平行。在库尾中段，尕玛羊曲以东有青藏滇缅歹字头部构造断层的东北段，走向几乎与大坝西侧的印支地斜褶皱断裂带平行，也横穿水库区域。龙羊峡水库正好位于此两断层相夹的块体上。水库的东西两岸均有温泉。上述地质结构表明，在龙羊峡水库及其周围地区有通向地下岩层的通道。显然，水库蓄水后，有利于水向地下岩层渗透。

3.2　青海共和 7.0 级地震及其余震的时空分布

本文所谓青海共和地震是指 1990 年 4 月 26 日发生在青海省共和县塘格木农场与河卡乡之间的 $M_S=7.0$ 地震，震中位置为 N36° 07′，E100° 08′，当地又称塘河地震*。

主震发生后到同年 12 月 31 日止的 8 个月时间里，龙羊峡库区无线遥测地震台网共记录到地震8,145个。青海共和地震余震序列示于图 3。

青海共和地震发生后，5.0～5.9 级的余震有 5 个，4.0～4.9 级的余震 28 个，3.0～3.9 级的余震 72 个，2.0～2.9 级的余震 275 个，2.0 级以下的余震 405 个。这些余震主要分布在

* 据谷勤国，等. 1990—04—26 青海塘河地震目录. 1991

N35°51′—36°20′与E100°00′—100°30′之间。95%以上的余震发生在烈度为7度的区域内，85%以上的$M_S \geqslant 4.0$余震发生在8度区内，在9度的极震区内余震相当集中，7.0级的主震和3个5.0级以上的强余震均发生在这一区域内。余震区的长轴方向与极震区的长轴方向基本一致。主震后5天时间内就发生了占余震总数四分之一的地震。而5天以以后余震次数很快减少，由主震后每天530个余震减少到100～65个。至1990年10月，余震次数已下降到常值。

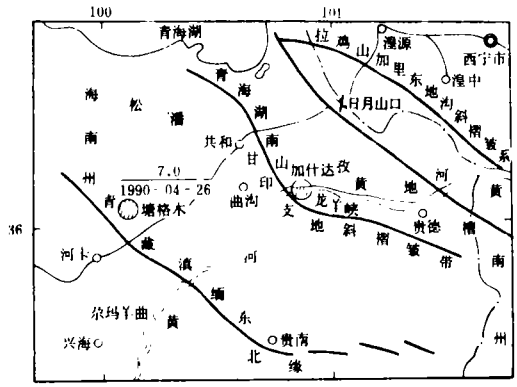

图2 龙羊峡水库及其周围地区的地质结构

Fig. 2 The geological structrues in the Longyangxia reservior region.

3.3 青海共和地震成因探讨

根据近代地震资料，青海共和地区在此次地震前，未有7.0级以上地震的记载。龙羊峡水库于1986年10月下闸蓄水，三年半后便发生了青海共和地震。1981年在龙羊峡水库大坝围堰后的雨季洪水期，水库自然蓄水后，青海省曲沟地震台就记录到了这一地区的许多微震。截止1990年，龙羊峡水库的蓄水量已达150亿m^3，也就是说，有150亿吨的荷载加于水库区域的地质块体上。水库蓄水量的增加和库水向地下岩层的渗透增强了水库断层的蠕滑[1]。因此，龙羊峡水库的蓄水可能是青海共和地震的诱因。

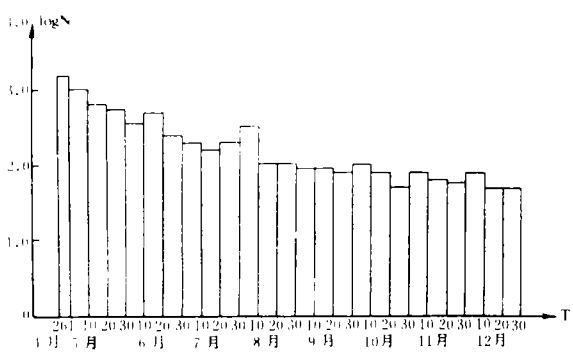

图3 青海共和7.0级地震的余震序列

Fig. 3 The aftershocks of the Gonghe earthquake, Qinghai.

根据兰州台网速报目录，在青海共和地区，1994年1月3日发生了6.0级的地震，1994年2月16日发生了5.3级的地震，1994年9月4日发生了5.2级的地震，1994年9月24日发生5.2级地震，1994年10月10日发生了5.7级的地震。值得指出的是，9月份的两次地震前，青海省境内普降大雨。所以，笔者认为$M_S \geqslant 5.0$的地震在这一地区增多的现象可能与该地区的降雨和水库的蓄水量增加有关。

4 结语

(1)龙羊峡水库是黄河上游目前较大型的水库，水库的安全直接关系到黄河中下游地区，尤其是西北重镇兰州地区人民的生命财产安全。龙羊峡库区无线遥测地震台网的建立，无疑具有明显的经济效益和社会效益。

(2)龙羊峡台网的运行状况可用龙羊峡电厂水试站的运行报告来概括："台网自运行以来平均每月可记录到地震 10 个以上。记录到的库区及其邻近地区的地震波形无畸变，震相清晰，记录背景整洁。台网中心位于黄河谷地，周围地形复杂。在这种复杂环境中，组建无线遥测地震台网难度大。根据运行情况，我们认为：该台网已达到设计要求，能够监测震情。为水库大坝提供地震资料。该台网系统运行可靠，仪器性能正常，测震精度高于一般台站"。

(3)1990 年的青海共和地震是在水库蓄水三年半后发生的。1994 年，青海共和地区发生了 5.0 级以上的地震 5 次，1995 年 7 月 9 日又发生了 5.3 级的地震。因此，龙羊峡水库及其周围地区值得密切注视和重点监测，青海共和地震的成因也值得进一步探讨和研究。

(4)龙羊峡台网已经运行 8 年了，记录和积累了丰富的测震资料和数据。青海共和地震后就记录到余震 8,145 个。显然，这些测震资料和数据对于研究龙羊峡水库及其周围地区的地震成因具有重要的参考价值，同时对于这一地区的地震波速比、岩石的微破裂等地震前兆的研究也具有一定的应用价值。

(5)台网在测定水库及其周围地区的震源深度方面还有待优化。台网的传输与处理系统还可以进一步实现完全数字化。

兰州地震遥测台网在进行龙羊峡库区无线遥测地震台网的建设中，曾得到柳培坤、袁铭、以及龙羊峡电厂水库试验站李仲群、李国强、谷勤国、李北海等工作人员的大力支持和帮助，作者谨此深表谢意。

参考文献

1　荣代潞. 黄河龙羊峡水库在青海共和 7.0 级地震孕育和发生中的作用. 西北地震学报，1993，15(3).

DISCUSSION ON THE CAUSE OF THE GONGHE M_S 7.0 EARTHQUAKE, QINGHAI, BASED ON THE DATA OF THE TELEMETRIC SEISMIC NETWORK IN THE LONGYANGXIA RESERVIOR REGION

Zhao Yiquan, Yao Tongfu, Liu Fengxiang, Lei Fang

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou* 730000)

Abstract

An earthquake (M_S 7.0) occurred in Gonghe county, Qinghai Province, on Apr. 26, 1990. Is it a tectonic earthquake or a reservior earthquake? The telemetric seismic network around the Longyangxia reservior has recorded a wealth of earthquake data for the past 8 years, only after the Gonghe earthquake, the network recorded 8,145 aftershocks, thus provides rich data for solution of the above-mentioned problem. There have been more and more $M_S \geqslant 5.0$ earthquakes in the region since 1994. Therefore, the Longyangxia reservior region merits seismologists attention and studies.

Key words: **Seismic sequence**, **Seismogenesis**, **Telemetric seismic network**, Longyangxia reservior, Gonghe earthquake