

大化水库地震分析

光 耀 华

(广西电力勘测设计院)

提要 大化水库自1983年蓄水后出现频繁的微弱地震,延续时间达7年,最大震为 M_s 1.7级,地震系列属震群型,初步判断属水库诱发地震。由于库区有活动断层且岩溶发育,地震诱发机制可能为断层孔隙水压力效应或岩液塌陷。从地震发展趋势分析,目前已处于衰减程过,预测今后不会有强震发生。

主题词 广西 水库地震 地震诱发机制 地震趋势分析

一、水库地震概况

大化电站是红水河上第一座大型水电站,装机40万千瓦。水库总库容为4.19亿立方米,最大坝高74.5米,正常蓄水位155米。为监测大化水电站建成后库区地震活动,1982年4月设立了大化地震台,装有三分向地震仪,其后又设立了两个流动台。1982年5月27日大坝关闸蓄水,同年6月4日出现地震活动。7月11日发生小震群,从上午9时到13时共发生地震27次,震级为 M_s 0.1~0.7级。当时库水位144.66米,坝前雍水高度27.5米。此后,每月都有数次微震。同年12月4日又发生小震群,在8个小时内发生地震26次,震级为 M_s 0.1~0.9级。当时库水位在缓慢下降。以后每年小震不断,从1982年7月到1989年底共记录 $M_s \geq 0.1$ 级地震141次。最大震级是 M_s 1.7级,发生于1987年6月24日。地震释放总能量 1.76×10^8 焦耳,此能量相当于一次2.3级地震。由于震级小,大部分地震人无感觉。1987年6月24日和25日的震群闻有3次地声,但对电站运行无影响。

二、水库地震特点

(1) 震中大部分位于库区下段。根据广西区域地震台网监测资料,大化地区在大化水库蓄水前地震活动微弱。1982年5月水库蓄水后弱震明显增多,大部份发生在大化水库的水域范围内(约占70%),尤以距大坝上游1~7公里为最多(图1),其余则分布于红水河岸坡、丘陵或岩溶谷地中。从构造上看,地震主要分布于龙母岭向斜两翼的北西向断裂带上。

(2) 震源深度较浅,一般为3.1~3.5公里,只有一次为6公里。显然它属于浅源地震。

(3) 从地震系列来看,大化水库地震属震群型。震群型地震系列的前震、余震与主震震级比较接近,无明显主震;最大地震在全序列中所占的能量,一般小于80%。大化水库地

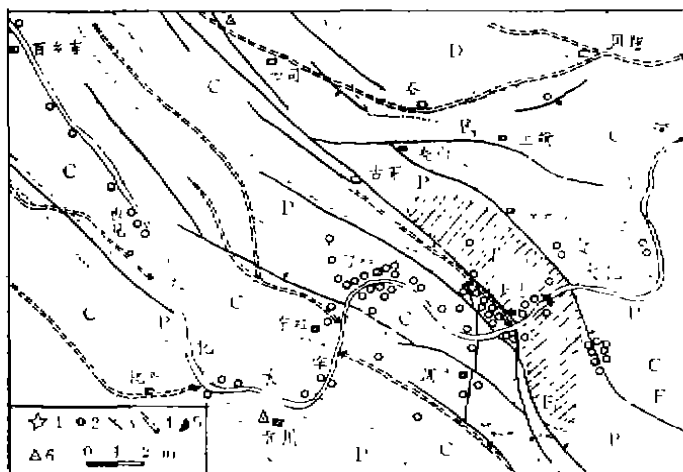


图1 大化水库地震分布图

Fig. 1 Distribution of reservoir earthquake in Dahua

1. 地震台; 2. 震中; 3. 断层; 4. 地下河; 5. 大化电站; 6. 临时台。

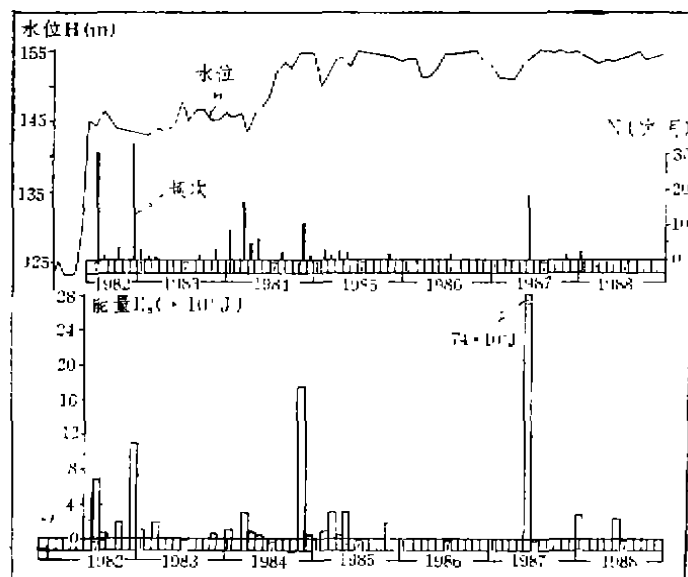


图2 大化水库地震与库水位关系图

Fig. 2 Relations between reservoir earthquake and reservoir level in Dahua

震正是这样,在整个序列中, ≥ 1.5 级的地震有4次,最大地震所占能量仅为12%。因此,大化水库地震是典型的震群型。

(4) 地震与库水位有一定的对应关系。大化水库第1次震群是在水库蓄水初期水位急剧上升达到高水位后一段时间发生的,与大坝关闸蓄水时距仅一个多月,滞后于当时最高水位(150.20米)23天(图2)。而同年12月的第2次震群则是在库水位下降过程中发生的,此后似乎都有这样的规律。

(5) b 值较高。从震级分布来看,大化水库地震震级小, $M_s=0.1 \sim 1.0$ 占65%(图3)。考虑地震的全部系列,按震级频

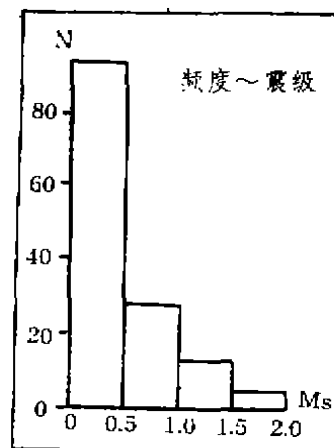


图3 震级分布图

Fig. 3 Distribution of earthquake magnitude

度关系式: $LgN=a-bM$, 用最大似然法计算 $b=1.18$, 显然 b 值较高。这是水库地震的另一

特点。通常，天然构造地震b值为0.5~0.8。例如东南沿海地区为0.54，桂西地区为0.70，大化电站所在的都安、马山县一带为0.77。水库地震b值一般都大于1.0（表1）。大化水库地震b值高于当地构造地震，而与其他地区水库地震接近。

表1 若干水库地震b值
Table 1 B value of some reservoir earthquakes

| 水 库 | 震级 (Ms) | b值 |
|-------|---------|------|
| 新 丰 江 | 6.1 | 1.12 |
| 乌 溪 江 | 2.8 | 1.34 |
| 前 进 | 3.0 | 1.24 |
| 南 水 | 2.4 | 0.95 |
| 卡 里 巴 | 6.1 | 1.18 |
| 柯 依 纳 | 6.4 | 1.87 |
| 克里玛斯塔 | 6.3 | 1.41 |

综上所述，大化水库地震发生于水库蓄水之后，且密集于库区，b值高，与库水位对应关系较好。这些特点表明，大化水库地震有别于天然构造地震，应属于水库诱发地震。

三、库区地质构造背景

大化水库位于桂西地区北北西向褶断带的中部。巴马—昆仑关区域性大断裂通过库区，距坝址仅2公里。坝址附近为一封闭向斜构造，向斜核部为三迭系（T）碎屑岩。大化坝址即位于三迭系下统含钙质粉砂质泥岩中。向斜两翼为石炭、二迭系碳酸盐岩。近坝附近有4条较大的断层（图1），其中北北西向古茶—大当断层（F₁）和亮山—流水断层（F₂）夹持于向斜两翼。另两条即古线—上旗断层（F₃）和周屯断层（F₄）与大当断层斜接。实际上，这4条断层都是巴马—昆仑关断裂的组成部分，在本区组成一向SE撇开的帚状构造。大当断层是巴马—昆仑关断裂之主干，走向北40°西倾向南西倾角85°，断层破碎带宽10~30米，影响破碎带宽300~500米，为走滑逆断层。经铀系法和热释光法测年，该断裂在距今20万年和6万年前有过活动。1971年9月在该断裂上的都安六也（距坝址18公里），曾发生3.8级地震。1806年在该断裂南端的武鸣府城（距坝址40公里）发生一次4 $\frac{1}{2}$ 级地震。在巴马—昆仑关断裂北端的黔桂交界处（距坝址195公里），于1875年发生一次6 $\frac{1}{2}$ 级地震。所以，该断裂近代仍具有一定的应力积累水平，成为桂西地区的主要孕震构造之一。但就库坝地区而言，仍然属于弱震区，坝址地震基本烈度为6度。

大化库区广泛分布晚古生代碳酸盐岩，泥盆系（D）与石炭系（C）以厚层均匀状灰岩为主，夹有白云岩，二迭系（P）则为燧石灰岩。地貌上形成峰林洼地和岩溶谷地，溶洞、落水洞、地下河发育，岩体渗透性强。洼地中的落水洞密度可达6~30个/km²，钻孔遇洞

率34.1%，线性岩溶率2.04%，钻孔遇到最大溶洞直径达23.5米，说明该区岩溶相当发育。库区有5条地下河流入库内，其中大当地下河是受大当断层控制，循碳酸盐岩与砂页岩接触带即断层带延伸。这些地下河长度都在6公里以上，枯水流量 $0.08 \sim 0.16 \text{ m}^3/\text{s}$ ，水库蓄水后淹没了地下河出口段，库水顺地下河倒灌，致使部分岩溶洼地遭致浸没。

四、水库地震成因机制和诱发条件

目前，全世界已有水库地震近百例，其中我国15例，从实际震例总结出来的水库诱发地震成因机制大致有三种模型，即荷载效应、孔隙压力效应和外动力作用（重力、岩溶塌陷或气爆）。大化水库库容4.19亿立方米，最大雍水高度48米，为径流电站，水库不出河槽，与天然洪水水域范围差别不大。因此，水体荷载增量不可能致震。孔隙压力效应和外动力作用致震则是有可能的。所谓孔隙压力效应，就是水库蓄水后，通过断层、裂隙、岩溶通道向深部渗透，引起深部构造面的孔隙压力增大，有效正应力减少，从而降低岩体强度而诱导岩体应力释放。外动力作用对岩溶地区特别敏感，统计资料表明，有60%的诱震水库位于岩溶化的碳酸盐岩地区。这是由于碳酸盐岩地区岩溶发育，岩体渗透性强，而大都有陡峻的峡谷地形，在库水作用下易于诱发岩溶塌陷及重力滑动而致震。因此，研究水库蓄水后能否诱发地震，就要研究库坝地区的环境因素，即库水的渗透条件和发震构造条件。通常，陡倾角断层、顺河向断层、透水岩体与隔水岩体边界以及垂直岩溶、深部岩溶发育的地区易于使库水向深部渗透，而发震构造条件则主要指库区有无活动断层及其应变能的积累程度。

大化水库地震成因也可以从构造和岩溶两方面进行分析。由于大部分震中密集于大当断层带和库岸岩溶漏斗发育处，表明断裂构造和岩溶在诱震中所起的重要作用。大当断层是一条活动断层，它在水库诱发地震过程中起着双重作用：一方面，该断层为数条陡倾角断层组成新断层组，若干条断层的斜接有联动作用，断层破碎带和三迭系隔水岩层边界以及大当地下河位置的重迭，这种三位一体的作用为库水向深部入渗提供通道。另一方面，活动断层本身是孕震构造，在库水作用下释放已积累的应变能而发震。

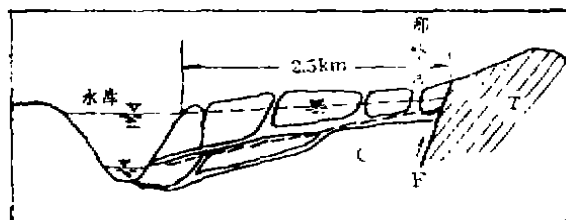


图4 大当地下河出口段形成地下库容
Fig. 4 Underground reservoir capacity formed at the section of the river mouth under the ground of Dadang

大化水库地震另一种成因类型是岩溶塌陷型。从百练到大当的沿河一级阶地上岩溶漏斗成群，从东洋到大当的地下河沿途密布，在其出口地段具二元结构，水库蓄水后库边地下水位普遍抬高，库水充满岩溶网络空间，形成部分地下库容。据库区地下水动态观测资料，距离库边2.8公里的东红地下河38号洞和距离库边2.5公里的大当地下河那朴洞水位，在水库蓄水前比河水位高8.1~10.6米，而水库蓄水后与水库水位几乎持平（图4）。显然是由于库水倒灌而

成，也就是说，水库下段地下水库容宽度达3~3公里。由于库水位随季节变动，使某些溶

蚀或被裂隙切割的地下不稳定岩体滑动陷落而形成岩溶塌陷地震。1987年6月24日和25日的震群，间有3次地震，可能为岩溶塌陷所致。

五、结 语

根据已有的资料初步判断，大化水库地震是水库蓄水诱发地震，这是因为该区具备一定的诱震条件，即：有活动断层通过库区，岩溶发育，岩体及构造破裂面渗透性强以及中等规模的水头和库容等。水库地震类型属震群型。诱发机制为断层孔隙水压效应或岩溶塌陷或两者兼而有之。库区的地震活动对电站运行无影响。从现有关资料分析，该水库地震发展已趋向于衰减过程，预测今后也不会有强震发生。当然，随着库水位的变动，引起局部地区发生微震，则仍有可能。为此，地震监测工作仍应继续进行下去。

参 考 文 献

- 〔1〕丁原章，中国诱发地震，华南地震，第9卷，1期，1989。
- 〔2〕夏其发，我国水库诱发地震的基本特征与今后工作的探讨，第二届全国水库诱发地震学术会议文集，1990。
- 〔3〕胡毓良等，乌江渡水库诱发地震的研究，第二届全国水库诱发地震学术会议论文集，1990。
- 〔4〕常宝琦，水库诱发地震预测，华南地震，第4卷，第4期，1984。
- 〔5〕李安然等，关于水库诱发地震环境因素的探讨，地壳变动与地震，第一集，地震出版社，1989。

A ANALYSIS OF RESERVOIR EARTHQUAKE IN DAHUA

Guang Yaohua

(Designing Institute of Electric Survey in Guangxi)

[Abstract] Since the reservoir filling in 1982, weak earthquakes occurred frequently in Dahua Reservoir, which lasted for as long as seven years, the largest magnitude is $M_s=1.7$ and all of them belong to the type of earthquake swarms. The author judges that they are reservoir induced earthquake. As there are active faults in the reservoir area and the karst develops very well, the mechanism of earthquake inducement may be caused by pore water pressure or karst subsidence. By analysing the developing tendency of earthquake, they are in the process of attenuation at the present time and it forecasts that strong earthquakes may not occur in the future.

[Key words] Guangxi, Reservoir earthquake, Mechanism of earthquake inducement, Analysis of earthquake tendency