

丹江口水库渗透环境及诱震效应的初步分析

1. 引言

丹江口水库自1967年11月开始蓄水。1970年1月起，库区一些特殊地段开始出现了明显的地震活动，并分别于1972年4月3日和1973年11月29日发生了林茂山3.5级(Ms)地震和宋湾4.7级(Ms)震群活动。

为此，有关研究人员曾对该区地震地质条件、水文地质条件及地壳形变、地震活动等进行了较为详细的讨论^[1]。然而对库区的渗透环境等方面研究不多。自1965年以来，我们在野外考察的基础上，做了有关丹江口水库区渗透环境方面的研究工作，并试图通过对丹库区的渗透环境的研究，进一步探索水库诱发地震的形成机制。

2. 库区渗透环境及诱震效应

丹江口水库分汉库和丹库两部分，前者库区主要分布着前震旦系中一浅变质岩，后者库

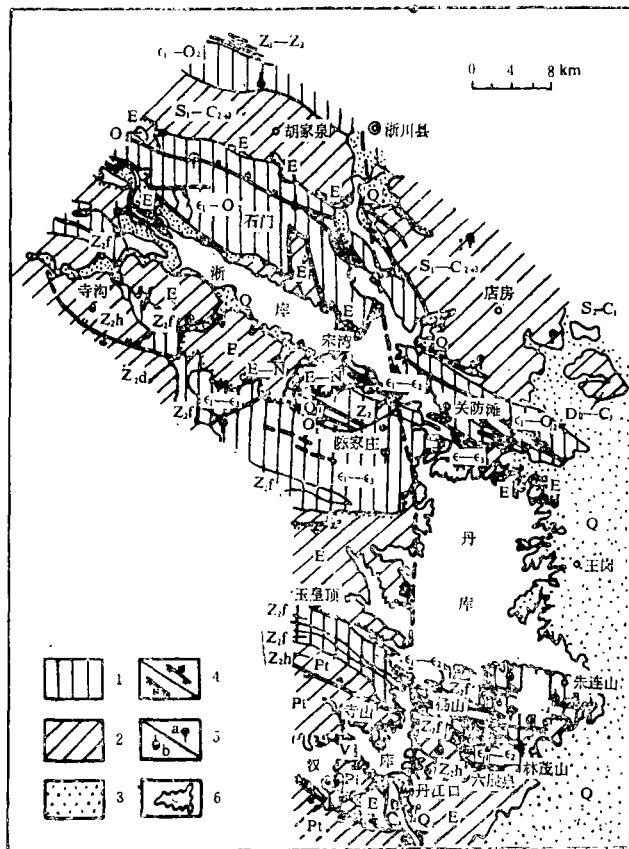


图1 丹江口水库区地质环境略图

- 1. 碳酸盐 2. 相对隔水层 3. 第四系 4. 断层 (a. 逆断层; b. 正断层)
- 5. 泉 (a. 下降泉; b. 上升泉) 6. 库域

区则主要分布有古生界碳酸岩层和第三系砂砾岩层。由于多次构造运动的影响, 本区复式褶皱、断裂和节理发育, 其中占主导地位的NWW向断裂和近NS向的丹江断裂均具有新构造期的活动特征〔2、8〕(图1)。

分布在汉库库区的变质岩为结晶副片岩和变质火山岩, 其含水性和透水性差。虽然NWW走向的均郎等断裂贯穿于汉库区, 但十堰市供水勘探资料证明, 没有沿断裂带形成库水的透水通道〔4〕。而在丹库区分布的可溶性碳酸盐岩石(白云岩和灰岩), 其含水丰富, 透水性强, 水的渗透系数 $K = 22 \sim 28$ 米/日, 平均吸水量为 $0.2 \sim 0.7$ 公升/秒。第三系地层的含水性和透水性不好。

从图1可见, 在丹库区由南向北大致可分为相间排列的两个库水渗透区和三个库水封闭区:

丹江口~六股泉~林茂山封闭区: 主要由第三系砂砾岩层和前震旦系变质岩组成, 分布方向大致与大坝轴线(EW向)平行。在林茂山以北, 第三系地层呈NE向展布, 总体起相对隔水作用。

扬山~朱连山渗透区: 位于肖河峡谷两侧, 主要是东侧碳酸盐岩层分布区(有少量砂页岩夹层)。该区发育一走向NWW的复式褶皱和数条与之平行的、具有新活动特征的断裂构造, 如金家棚断裂(即均郎断裂的东南段)等, 它们与丹江河谷几近直交。由于多次构造运动的影响, 该区岩层层面陡、间隙大, 加上多组节理构造的切割和河流的侵蚀作用, 岩层十分破碎, 节理面最宽间隔为10厘米左右(图2)。区内泉水出露频繁, 并沿NWW~SEE方向呈串珠状分布。

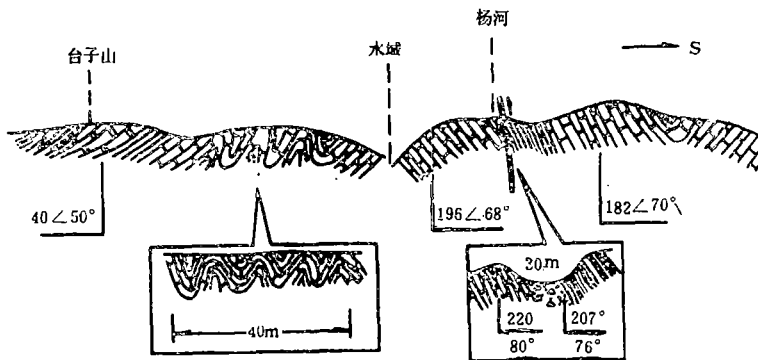


图2 丹库区肖河峡谷寒武系灰岩地质剖面

玉皇顶~王岗封闭区: 即李官桥盆地(丹库主体)及其东西两侧的第三系和第四系地层分布区, 属不透水层。

陈庄~关防滩渗透区: 主要分布的地层为古生代碳酸盐地层和少量砂页岩夹层, 渗透区长轴呈EW方向展布, 岩层走向与关防滩峡谷垂直。在野外考察中, 我们发现该峡谷两岸小褶皱十分发育——背向斜紧密相连(图3), 这样库水就易沿着倾角大乃至直立的岩层的层面向下渗透。此外一系列与NWW向褶皱轴平行的早期生成的高角度断层(如陈庄~唐山断裂等)破碎带, 后期在褶皱引张部位形成的张性破裂, 峡谷中的八仙洞、老虎洞等大型溶洞及泉水, 都是库水向下渗透的通道(图4)。

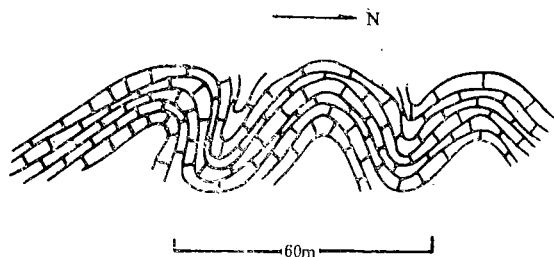


图3 关防滩峡谷小南沟附近寒武系灰岩褶曲素描

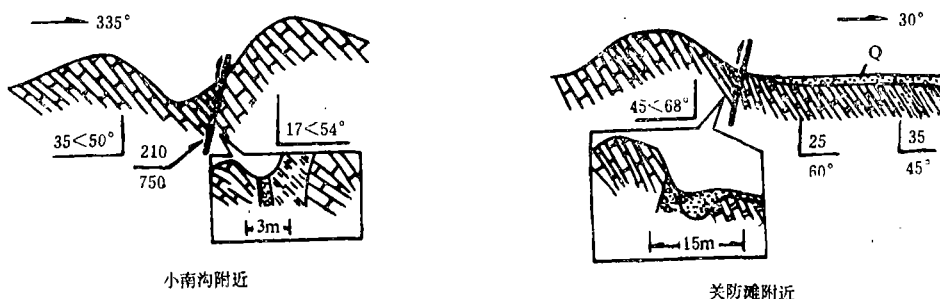


图4 关防滩峡谷寒武系灰岩中断层剖面

宋湾~店房封闭区：由浙川盆地及其以南的第三系地层，以东的志留系、石炭系砂页岩地层构成，它是库水向下渗透的屏障。

如图1所示，上述五个渗透区和封闭区的东侧为第三系和第四系，西部为前震旦系变质岩，它们与丹江口~六股泉~林茂山等三个封闭区相连，将杨山~朱连山和陈庄~关防滩两个渗透区包围。

丹库蓄水以后，库水沿着杨山~朱连山渗透区和陈庄~关防滩渗透区的活动断裂破碎带、构造裂隙、褶皱的（陡倾的）岩层层面、溶洞和碳酸盐岩层等向下渗透，继而受上述诸封闭区的阻隔。随着库水位的上升，远离库区的渗透区和封闭区交接地带的渗入水及与渗入水相通的地下水水头压首先增大，由此导致此部位及其周围的断层和岩石裂隙的孔隙压相应增大。在区内近EW方向的构造应力场作用下，库区岩块尤其是NWW向断层两盘的岩块发生错动，形成地震，如林茂山、凉水河及宋湾等处地震均属这种成因（图5）。同时使与渗入库水相通的泉水急促外泄，如老河口市六股泉¹⁾等。随着高水位的持续和水位的上升，渗入水的高水压逐步向库区扩展，地震也相应地向库区集中。丹江水库地震比邻区内乡地震的应力降和视应力高一个数量级左右，亦与由于水的渗透造成孔隙压扩散有关²⁾。

由于渗入水的水压是受库水位控制的，即库水位越高，渗入水水压越大，所以库区高水位或高水位的前后往往是发生地震的时间。这就是丹库蓄水的初期阶段地震与库水位相关的原因。随着初始应力的不断释放和岩体逐渐趋向稳定，这种相关性在后期也越来越不明显。

丹库区的诱发地震的最大震级（ M_s ）为4.7级，大致相当于水库蓄水前邻近地区地震的最大震级（1964年赵川4.6级）。这表明丹库区及邻区在水库蓄水前就有一定的应变能积累。据文献〔5〕的研究，丹库区地方震尾波Q_o值在低频段平均为90，属低Q值地区，这样的

1)于品清同志面告。

2)严尊国，丹江及邻区地震震源参数的初步研究。

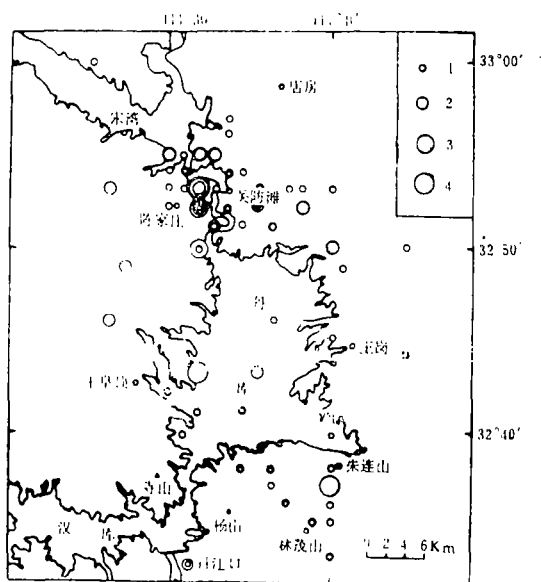


图5 丹库区诱发地震震中分布图
(1970—1986)

1. $M_S=1.0-1.9$ 2. $M_S=2.0-2.9$
3. $M_S=3.0-3.9$ 4. $M_S=4.0-4.7$

构造破碎区难以积累大量的弹性应变能。丹库区的诱发地震的发生时间与蓄水时间间隔长(两年零三个月)的事实也证实了这一点。因此,尽管丹库区存在具有一定的新活动的断层和良好的渗透储积环境,而水库蓄水后诱发地震的最大震级仍未突破本区蓄水前的水平。

3. 几点认识

(1) 丹库诱发地震与库区渗透环境密切相关。缺乏这种环境条件,水库则难以诱发地震(如汉库)。

(2) 丹库诱发地震的地点、时间和震级的大小与库区的渗透环境、库水位和弹性应变能的积累程度有关。

(3) 据以上分析,丹库二期工程建成以后,随着库水覆盖区的扩大和新的渗透环境的形成,河南浙川盆地亦即渐库周缘有可能诱发地震,但估计震级不会超过现有水平。

在野外考察中,我们得到水电部丹江口水利枢纽管理局的大力支持,特此致谢。

(本文1987年12月14日收到)

(国家地震局地震研究所 徐永键 李安然 韩晓光)

参 考 文 献

- [1] 国家地震局地震研究所,丹江口水库诱发地震文集,地震出版社,1980。
 [2] 李坪等,均邱断裂带和丹江断裂带的研究并论丹江口地区几个地震地质问题,丹江口水库诱发地震文集,地震出版社,1980。
 [3] 谢广林,丹江口水库库区新构造运动的主要表现,丹江口水库诱发地震文集,地震出版社,1980。
 [4] 何鉴荣,丹江口水库地震的水文地质条件,丹江口水库诱发地震文集,地震出版社,1980。
 [5] 严尊国等,地方震尼波Q值及孕震介质条件的讨论——以丹江口水库地震为例,中国诱发地震,地震出版社,1984。

PRELIMINARY ANALYSES ON THE PERMEATION ENVIRONMENT AND INDUCED EARTHQUAKE EFFECT OF DANJIANGKOU RESERVOIR

Xu Yongjian, Li Anran, Han Xiaoguang
(Institute of Seismology, SSB)