

中国东部四个水库震例的诱震 环境因素研究

李安然 徐永键 韩晓光 张飞飞

(国家地震局地震研究所)

提要 本文通过对我国东部四个诱震水库的地质调查及其资料分析,探讨了水库地震诱发过程中所涉及的诸环境因素。研究表明:水库地震的诱发因素很多,但大体上可归纳成库水渗透条件和发震构造条件两类:这些环境因素只有在它们按一定方式恰当地组合成一个统一体存在于同一库区(段),水库地震才有可能诱发产生。因此,预测水库地震一个很重要的工作就是要查明库区诱发地震的环境因素及其总体组合条件。

关键词: 水库地震 诱震环境因素 库水渗透—储积 发震构造条件

一、引言

水库区地震或水库蓄水诱发的地震活动,半个世纪以来一直为地震专家们所关注并进行了多方面的研究工作。综合迄今为止的研究结果,回答“水库地震是怎样发生的”似乎要比解释“水库地震为什么发生在这里而不发生在那里”更容易使人信服。这可能是与过去对水库区诱发地震的环境因素研究不够,因而目前积累这方面的认识比较少有关。

中国的水库地震基本上分布在中国东部,其中主要集中在中南,其次是东北地区。在中国强震分布图¹⁾上,华南(包括中南)和东北部都是相对弱震区。但这并不是说所有弱震区都能诱发水库地震,就是同一构造区两个很靠近的水库,甚至一个水库不同库段其诱震情况都可以完全不一样。例如辽宁参窝水库和汤河水库,湖北丹江口水库的丹江库段和汉江库段等。总之,从现有的震例现象看,水库诱发地震不象天然地震与地质构造之间的关系那样明显,这说明水库地震的形成条件要更复杂一些。

本文是从我国东部四个诱震水库区的地质调查入手,初步探讨了水诱发地震的环境因素及其组合关系,试图为水库地震深入研究及其预报提供一种新的思路和途径。

二、四个诱震水库的地质调查

根据研究工作需要,我们在我国东部选择了以下四个有代表性的诱震水库进行了野外调

1) 国家地震局全国地震烈度区划编图组,中国大地构造和强震震中分布图(1:1000万),1978。

表1 中国东部四个水库诱发地震活动简表

Table 1 Activity of induced earthquake in four reservoirs in eastern China

| 库名 | 位置 | 蓄水时间 (年、月) | 地震活动 |
|-------|---------|---------------|--|
| 参窝水库 | 辽宁省辽阳市 | 1972、11 | 1973年2月开始诱发小震, 1974年12月发生Ms4.8级地震。 |
| 丹江口水库 | 湖北省丹江口市 | 1967、11 | 1970年1月开始诱发小震并逐步形成林茂山、宋湾两个震中密集区。1972年4月和1973年11月分别在林茂山、宋湾发生了Ms3.5级、4.2—4.7级地震。 |
| 新丰江水库 | 广东省河源县 | 1959、10 | 蓄水后地震活动增加, 1961年3月发生Ms6.1级地震, 20多年来共诱发地震30多万次。 |
| 柘林水库 | 江西省修水中游 | 1972、1 | 1972年10月开始诱发小震, 主震Ms3.2级。 |

1. 参窝水库

参窝水库座落在辽东隆起带太子河拗陷内。水域出露地层有太古界鞍山群、震旦系及古生界, 岩性主要为变质岩系、砂页岩和碳酸盐岩石¹⁾。按水文地质特性, 库坝区地层可分为诱水性岩层和不(弱)透水岩层, 前者主要是石灰岩, 后者则包括片岩, 混合岩及页(泥)岩等。

库区断层裂隙十分发育。通过库域及边缘较大的区域性断裂有太子河断裂、三家子~高家堡子断裂、三家子~下瓦子峪断裂、鸡冠山断裂、关门山断裂和参窝~太安平断裂等, 它们多以北东向为主, 倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$, 并切割了震旦系至白垩系地层。这些断裂主要定型于晚中生代燕山运动。新生代以来, 沿断裂带仍有活动表现, 沿带地震频频发生¹⁾即其例证。例如规模最大的太子河断裂, 断层陡崖沿带分布, 浅性构造形迹在卫星影象上显示清晰; 断层错断 Q_1 砂砾岩层; 沿断层带有汤河、千山、汤岗子等温泉分布, 其中汤河温泉水温在 71°C , 涌水量180吨/时, 经沈阳地矿所对泉水进行同位素研究表明属活动性断层²⁾(图1)。

除断裂外, 库区岩层中构造裂隙发育, 它们纵横交错, 倾角陡直, 把库域岩层切割成一系列直立的条块或柱状体。

上述透水岩层和不透水岩层多为陡倾角($60^{\circ}\sim 80^{\circ}$)。它们在库区交互迭置, 相间分布。尤其是透水性不同的两种岩石以断层相接, 并且透水层旁侧又有高倾角的构造裂隙切割, 就更有利于库水向深部渗透。库域及其附近存在着多处地层岩性及构造组合有利于库水入渗的地段, 诸如库域北缘瓦子峪附近碳酸盐岩与变质岩、页岩相接触, 水库西侧及西北缘鞍山群变质岩、震旦系砂、页岩和寒武碳酸盐类岩石的迭置等, 而且不同水文地质特性的两类岩层间大多以断层相接触。在库中心二道河子一带虽然未见碳酸盐类岩石, 但鞍山群片

1) 辽宁省第二地震队, 参窝水库区地震地质特征及地震趋势意见, 1975。

2) 水利电力科学院研科院抗震所, 辽宁省观音阁水库诱发地震可能性的初步看法, 1985。

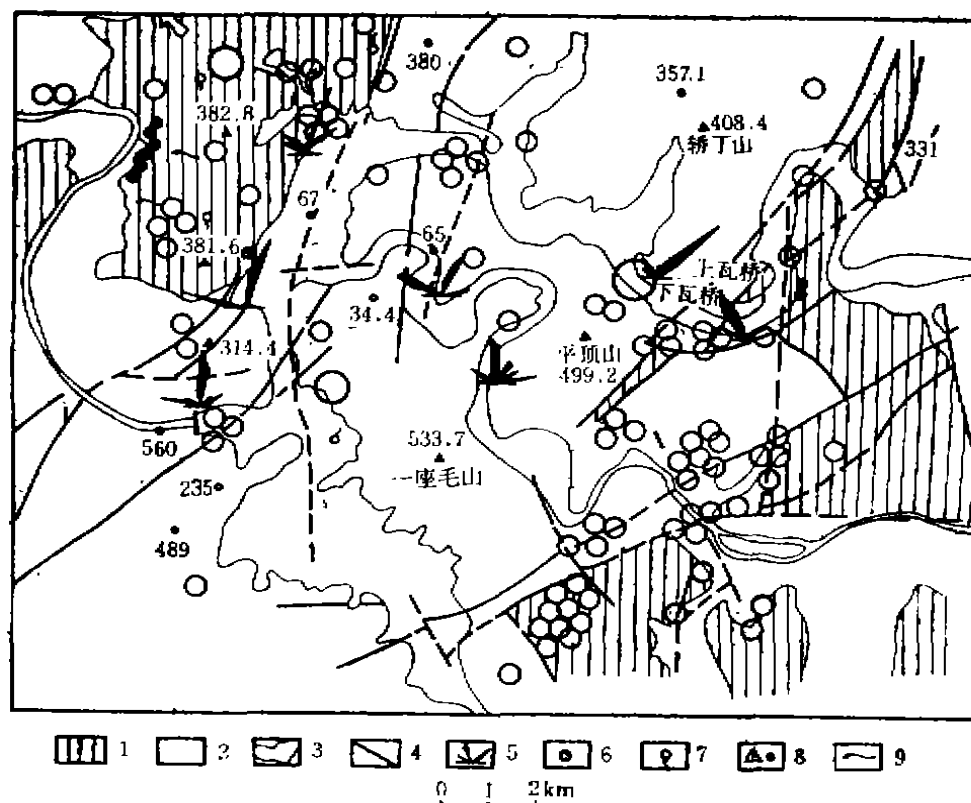


图1 参窝水库渗透环境及震中分布图

Fig. 1 Permeation environment and epicentral distribution of Shenwo reservoir

1. 碳酸盐岩地层; 2. 非碳酸盐岩地层; 3. 库域; 4. 断裂; 5. 节理走向玫瑰花图;
6. 溶洞; 7. 泉; 8. 高程点; 9. 伏流。

岩和混合花岗岩中直立裂隙极其发育, 而且其间以断层接触, 因而亦有利于库水渗透 (表 2)。

表2 二道河鞍山群裂隙统计表

Table 2 Statistics of fissures of metamorphic rock in Erdaohe area

| 走 向 | 条 数 | 百分比 (%) | 平均倾角 |
|----------------|-----|---------|-------|
| 近SN (340°~20°) | 6 | 18 | 61.2° |
| 近EW (70°~110°) | 11 | 31 | 79.6° |
| NE或NW | 18 | 61 | 67° |

库水入渗到深部, 如有较好的封闭环境将它储积起来, 便可诱发地壳中累积的应变能沿活动断裂或其它软弱结构面释放, 从而形成诱发地震。例如在主震瓦子峪分布着 E—O 灰

岩，产状陡直（倾角最大达 80° ），加上高倾角断层裂隙切割和岩溶发育，库水极易入渗；在此段东西两侧有混合花岗岩及页岩等弱（不）透水岩石，既促使库水向深处渗漏，又利于库水储积。在这样一种库水易于入渗~储积地段，兼有上述活动断裂（NE、近EW向等）存在，因而导致了该库区最大的诱发事件。

2. 丹江口水库

丹江口水库在近东西向的汉江和近南北向的丹江汇合处截流而成，因之分成两个库段：汉库和丹库。这两个库段分布的地层岩性迥然不同：汉库水域范围是前震旦系中~浅变质结

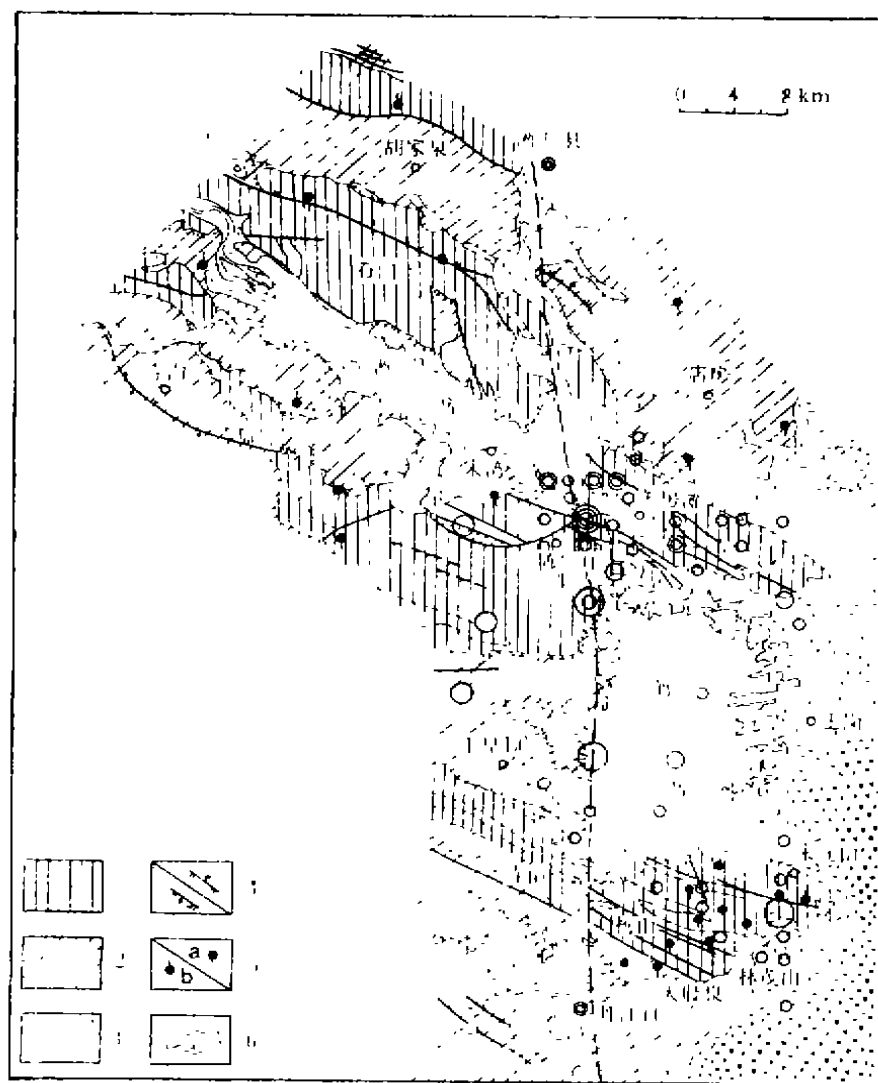


图2 丹库地质环境及震中分布图

Fig. 2 Geologic environment and epicentral distribution of Danjiang reservoir

1. 碳酸盐岩层; 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。

晶片岩和变质火山岩,基本上属不透水层;丹库分布着古生界碳酸盐岩层,砂页岩和第三系砂砾岩层(红层)。碳酸盐岩层透水性能好,而砂页岩层及红层则起相对隔水作用(图2)。

丹江口水库在构造上处于东秦岭构造带之武当隆起东侧,丹库东临南襄坳陷。区内构造以北西西向为主,包括北西西向复式褶皱及与其伴生的断裂系统,如均郢断裂、汉江断裂等,倾角 $40^{\circ}\sim 80^{\circ}$,历经长期活动,今犹未止。其次还有近南北向一组断裂,它们多切割其它方向构造,根据大坝开挖实测和遥感信息等综合判断,这组近南北向断裂很可能也是本区一组活动性构造^[2,3]。

下面我们侧重分析一下丹库两个震中密集区的诱震环境条件。

林茂山震区:在丹库肖河峪谷段两侧分布着寒武系灰岩,岩层产状陡直,倾角 $50^{\circ}\sim 80^{\circ}$,形成北西西向复式褶皱带和一系列北西西向断层。这些断层走向与丹江河谷流向大致垂直,断层倾角大,断层带松散、破碎,加上直立裂隙切割(裂隙最宽达10cm左右),因而具备着极好的库水渗透条件。渗透区范围大致以丹江口~六股泉~林茂山~朱连山~杨山为界,在其南、北、东和以西为渗透性微弱或不透水的第三系红层和元古界变质岩系所围绕,致使中间部分库水向深处渗入且不易向外扩渗而储积起来。

宋湾震区:在关防滩峡谷库段,主要分布有Z—O碳酸盐岩层,岩层走向北北西,形成一系列复式褶皱,岩层产状较陡,倾角 $50^{\circ}\sim 68^{\circ}$ 不等。断裂走向与褶皱轴向一致,包括早期形成的高角度纵向断裂和后期在背斜轴部发育的张性破裂,为库水入渗提供了良好的通道。与林茂山震区一样,在本渗透区周围分布起隔水作用的不透水地层,如第三系红层,志留系页岩与,因而也形成了一个封闭的渗水~储积环境。

在区内孕震构造条件具备的情况下,由于储积在库域深处入渗水的诱发作用,致使水库地震在以上两个库段得以发生。

3. 新丰江水库

新丰江水库修建在中生代以来的活动构造区¹⁾。库体座落在燕山期东西向延展的花岗岩体上,周缘与之接触的地层有泥盆系的砂页岩和碳酸盐岩石、侏罗系砂页岩和白垩~第三系的砂砾岩等。岩体内有北东东向和北西西向两组节理,整个库区有多组断裂系统发育,花岗岩体本身就是沿近东西向断裂侵入的。地表断层按走向大致可分为三组,即北北东、北北西和北东东向(图3)。

北北东走向的逆断层,是本区地表最发育的构造系统,如河源断裂、人字石断裂等。它们分布于水库的不同部位,倾角较缓($30^{\circ}\sim 45^{\circ}$),具有多期活动特点。

北北西向断裂以陡倾角($60^{\circ}\sim 90^{\circ}$),具张剪性为特征,如双塘断裂、碓坑断裂等,主要分布于水库东侧及新丰江峡谷区。在地表多表现为小型错动断层或密集的剪切节理带,它们在许多地段切割了北北东向和近东西向断裂,新近的活动性明显。1959年以前本区三次有感地震都发生在这组断裂附近。此外,古河道变迁、阶地的分布和构造地貌标志等,均表明此组断裂为第四纪活动断裂^[4],而且震源机制解和波谱分析结果也证实新丰江水库的主要诱发地震和余震活动都与此组断裂有关^[5]。

1) 肖安予,潘建雄,1982,新丰江水库地震的主要特点及形成条件的探讨。

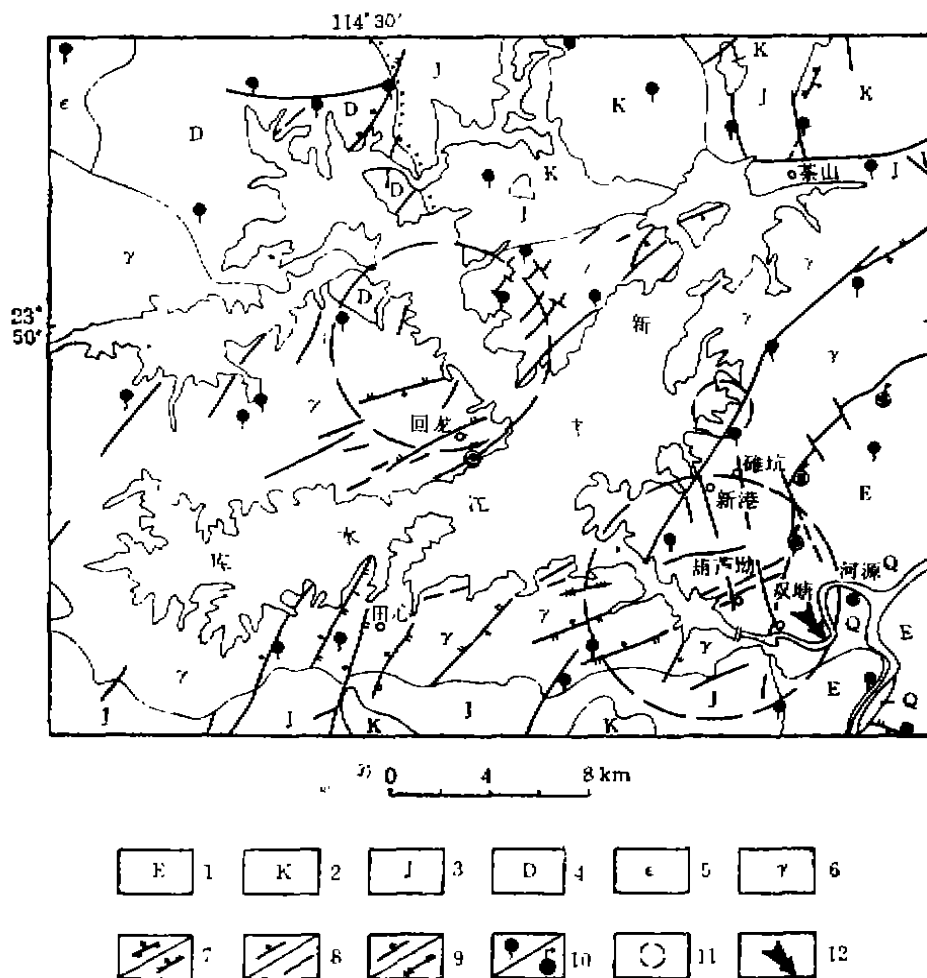


图3 新丰江水库地质环境略图

Fig. 3 Sketch of geological environment of Xifengjiang reservoir area

1. 第三系; 2. 白垩系; 3. 侏罗系; 4. 泥盆系; 5. 寒武系; 6. 燕山期花岗岩;
7. (a) 逆断层; (b) 正断层; 8. (b) 压扭性断层, (b) 扭性断层; 9. (a) 性质不明
断层, (b) 挤压带; 10. (a) 下降泉, (b) 热水泉; 11. 震中密集区; 12. 地下水流向

NEE向断裂主要分布在水库南北两侧, 倾角近直立, 以倾滑运动为主, 它是白垩~第三纪盆地基底的主要构造。

上述三组断裂与其它方向断裂纵横交错, 使水库所在的花岗岩体被切割成大小不等、形状各异的块体, 形成一系列破碎带。尤其是在新丰江库首区的峡谷地带及其两侧、库区西北部的回龙峡谷区为岩石破碎区。切割这些岩块的断裂, 有的贯穿于库区, 有的则与库区相邻, 从而形成库水向下渗入的通道。而破碎带(区)外围, 则是完整的花岗岩体和不透水性的第三系和侏罗系砂砾岩地层, 它们成为库水向外渗漏的屏障。河源断裂带上热矿泉1961~1981年间流量增长40%, 就表明由于库水的渗透, 从而改变了地热水的补给条件, 使得地下

水头压力剧增¹⁾。

在以上诸因素组合的环境中，区内NW~NNW向主压应力²⁾和入渗库水的联合作用，驱动了库域断层（主要NNW向）剪性或张剪性活动而导致诱发事件发生。

4. 柘林水库

水库座落在江西省西北部修水复式向斜东部的武宁~柘林向斜之中，主要是元古界和下古生界地层组成。库区中部，即向斜轴部为志留系砂页岩；库区南北西侧为震旦系至元古界的碳酸盐、砂页岩和变质岩系（图6），其中以震旦系岩溶最为发育（溶洞最大直径达9米）。库缘断裂很多，主要走向是近东西和北东向，以近东西向的沙田港断裂和武宁断裂规

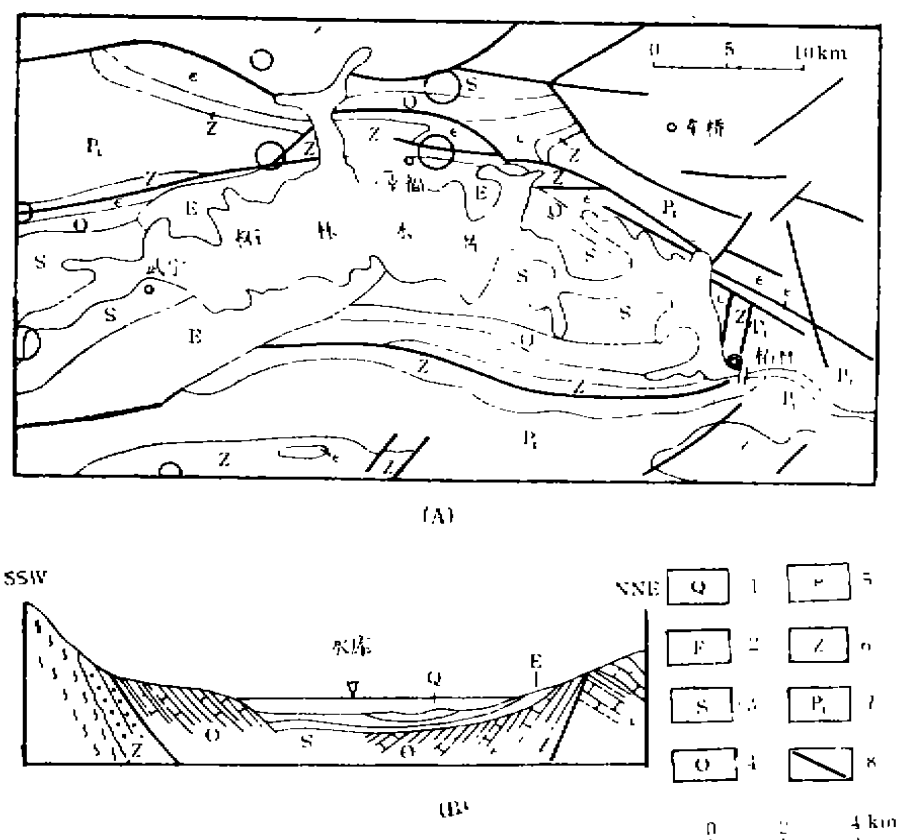


图4 柘林水库区地质及震中分布略图

Fig. 4 Geological environment and epicentral distribution of Zhelin reservoir area.

1. 第四系；2. 下第三系砂页岩；3. 志留系砂页岩；4. 奥陶系灰岩、页岩；5. 寒武系灰岩、页岩；6. 震旦系砂岩、灰岩；7. 板溪群变质岩；8. 断层

1) 广东省地质局水文工程地质二大队，区域水文地质普查报告，1982。

2) 沈立英等，新丰江水库区构造应力场与地震关系数学模拟，1982。

模最大，长百余公里，错断震旦系和寒武系地层，沿带分布有断层陡崖、三角面、温泉、地震震中等，并控制了新构造与地貌分区^[1]，是区内主要的一组活动发震构造。显然库域及其边缘的活动断裂、碳酸盐类岩石和岩溶等都成为库水渗透的良好条件。加之向斜构造谷地，岩层向内倾斜以及水库南北两侧不透水的变质岩和砂页岩的存在，既能使水体向深处渗透，又有利于入渗水的储积，以致建坝蓄水后不到一年即诱发了水库地震活动。

三、水库地震的诱发环境因素分析

通过以上四个蓄水后引起地震活动的水库区地质调查和研究，我们认为能够诱震的水库必须具备以下基本环境因素及其组合条件：

1. 库水渗透~储积条件

在水库地震产生过程中，一个很重要的因素是需要水能起诱发作用。因此库水必须有可

表3 中国东部四个诱震水库的环境条件
Table 3 Environment of four reservoirs of induced earthquake
in eastern China

| 特征 类别 | 库名 | 参窝水库 | 丹江口水库 | 新丰江水库 | 柘林水库 |
|----------|----|-------------------------------|--|---|---------------------------|
| 地层岩性 | | 太古界鞍山群、震旦系、古生界变质岩系、砂页岩和碳酸盐岩石 | 前震旦系结晶片岩、变质火山岩和古生界碳酸盐岩层、砂页岩及第三系砂砾岩（红层） | 燕山期花岗岩和泥盆系砂页岩、碳酸盐岩、侏罗系砂页岩和白垩~第三系砂砾岩（红层） | 元古界变质岩系、震旦~志留系砂页岩、碳酸盐岩层 |
| 岩层排布 | | 一些库段透水岩层（碳酸盐岩等）与不透水层（变质岩）相间排布 | 透水岩层（碳酸盐岩）周围分布有透水性弱的岩层（砂页岩、红层、片岩） | 库区花岗岩体边缘分布有碳酸盐岩、砂页岩、砂砾岩 | 库区中心为不透水的页岩，两侧为透水性灰岩及变质岩系 |
| 岩层产状 | | 陡直（60°~80°） | 近直立（55°~80°） | | 岩层向库中心倾 |
| 岩溶 | | 奥陶系石灰岩中有岩溶发育 | 肖河峡谷、关阿滩峡谷中有岩溶 | | 震旦~寒武系中岩溶发育 |
| 断层裂隙 | | 高倾角（70°~80°）断层裂隙发育 | NNW向断裂和直立裂隙甚多 | 多组断裂系（NNE、NNW和NEE）发育，最大倾角达60°~90° | 库缘断裂甚多（NE、近EW） |
| 区域主压应力方向 | | NEE | 近EW | NW—NNW | 近EW |
| 活动断裂 | | NE向断裂系统是区内主要活动断裂 | NNW向和近SN向断裂活动 | NNW向断裂活动性强，其次NE向断裂 | 近EW向断裂活动性强 |

能进入库基下一定的深处，而且能有一个封闭环境使入渗水储积起来。库水只有在这样一种环境中才有可能发挥其诱发功能。前述四例诱震水库大体上都具备其特有的、可使库水渗透—储积的地质环境（表3）。例如参窝水库高倾角的可透水的碳酸盐岩层与不透水的变质岩相间排布及发育的断层裂隙；丹江口水库峡谷区与紧密褶皱相联系的高倾角碳酸盐岩层、陡直的断层破碎带和张性节理；新丰江水库通过水域的高倾角活断层和裂隙密集带；柘林水库库缘的灰岩岩层、溶洞及顺河向的断裂带等，都是有利于库水向深部渗透的。上述水库震例的环境因素研究表明：碳酸盐地层及其发育的溶洞和断裂系统都是库水渗透所必需的条件，另一方面不同岩性地层的相间排布也是不可缺少的。象丹江口水库两个诱震的灰岩峡谷区，旁侧都分布有透水性弱或不透水的岩层（前震旦变质岩和第三系红层）；参窝水库裂隙发育的灰岩、变质岩和泥页岩也呈相间排布。这样，夹于不透水层中间的可透水岩层自然就形成了一个良好的库水渗透和封闭系统。

值得提及的是，库水入渗的主要通道是水域及其边缘的断裂和其他不连续的地质介面、岩溶等，尤其是竖直的岩溶管道、平行于河床的，现代处于引张作用的高倾角断裂破碎带^[1]。例如新丰江水库和丹江口水库的震中密集区正位于峡谷地带，这里有一系列高倾角断层裂隙（包括顺河向及其它方向的），柘林水库区近东西向的武宁断裂和沙田港断裂也大致与河床或库岸平行。国外如Kariba（非洲）水库，沿赞比亚河形成顺河向的断陷谷地^[6]，Lakemead（美国）的维拉断陷盆地以及Monteynard（法国）水库的断裂带^[1]等也都是顺河向发育的。为什么诱震水库大都有一些顺河向断层或裂隙带，可能是因为这样的构造环境最有利于库水大量进入深部使其能得以发挥诱发作用。特别是造成不同岩性（即透水层与不透水层）相接触的断层，不仅有利于库水向深处渗漏，也有利于入渗库水在深处储积。

2. 诱震发生的构造条件

库水渗入库下一定深度储积起来，即使能起到增大孔隙压、降低岩石强度作用，但要诱发地震活动还得取决于应变能的累积和释放条件，也即通常所说的地震构造环境。本文所列举的参窝水库、丹江口水库、新丰江水库和柘林水库除了都具备良好的渗透条件外，还存在区域性活动发震构造，藉以释放所累积的应变能而发生地震。当然，地震发生的构造条件是一个区域的总体概念，它包括大地构造背景、深部地壳结构、现代构造应力场、现代地壳运动和活动发震断层等，我们称之为地震构造总体环境。其中活动断层在水库地震诱发过程中可以起双重作用：一方面可为库水渗入提供通道，另一方面又在库水的作用下，释放能量发生地震。因而活动断层的存在是诱发地震的构造条件中最重要的重要因素。Gibbs, J. F和Healy, J. H等（1973）在研究美国Rangely油田注水诱发地震后认为“在油田内没有天然（活动）断层部分，即使液压很高，注水也不会产生地震”^[9]。前述国内四个震例中，如新丰江水库区NNW向断层、柘林水库区近EW向构造，丹江口水库区NWW和近SN向断裂系统和参窝水库的NE向断裂等，都属活动性断层。国外一些著名的诱震水库，如Kariba、Kromeste、Koyna、Lakemead、Kuvobewnge和Hgpek等^[10]都曾报导有活动断层存在。而应变能的积累，一是水库所在区域原有构造应力（即初始应力），二是由于库区蓄水引起的附加应力，两者迭加起来即水库地震产生的动力。显然初始应力的存在是水库诱发地

1) 成都地质学院，水库地震及深井注水地震国外研究概况，国外地质，5—6期，1972。

震的一个前提：库区初始应力（或原已积累的应变能）高，则其应变能才有可能在库水的作用下释放出来。总之，水库地震产生的构造因素很多，但活动断层和较高的构造应力的存在则是主要的。

上述库水渗透～储积和构造发震等条件是所有各种相关诱震环境因素的分类概括。对诱震水库来说，这些因素既要齐全又要组合得当，缺少一种因素则难以诱发地震。例如与参窝水库紧邻的（距离不足20公里）的汤河水库，尽管区域构造条件与参窝水库相似，但由于岩性单一、完整、断裂少^{〔11〕}，库水渗透条件差，水库蓄水后无地震发生；丹江口水库的汉库段，主要分布不透水的前震旦系变质片岩和变质火山岩，库区水域范围内大断裂不多，地质勘探也证明了库水未沿断裂形成渗水通道^{〔12〕}，因此未能诱发水库地震，这就与丹库形成了明显的对照。由此看来，诱发水库地震的环境因素，即渗透条件和发震条件，甚至次一级环境因素之间，都必须要有恰当的配备，组合，才有可能产生诱发事件。

四、结 语

（1）水库地震是在库水的直接作用下产生的，其过程是：首先是库水通过库区岩石中断层、裂隙、岩溶及其它不连续地质结构面等通道渗入地下一定深处并且在封闭的环境中储积起来；然后是入渗库水通过多种物理和化学作用，导致那里累积的应变能沿薄弱带（面）释放而发震。可见，在水库地震的诱发过程中，库水的渗透（漏）和发震是两个紧密相联系的基本环节，这就需要诱震库区具备两大基本的地质环境因素：库水的渗透（漏）～储积环境和发震的地质构造条件。

（2）从地质学角度看：库水渗透（漏）～储积条件属静态因素，它取决于库坝区上部地壳的物质组成，包括岩不均匀性质，结构及其组合迭置和排布；而发震构造属动态因素，它要求水库所在区域是构造上的活动区，即须具备活断层及驱使断层运动的高应力。因此在预测或评价新建水库的诱震可能性时，具体应根据以下的诱发（震）环境标志：

①库区是有较高的应力～应变积累的现代活动构造区，因此建库前天然地震不多，即地壳内应变能很少释放而处于闭锁状态；

②库区水域内存在高（陡）倾角的活断层或破裂密集带；

③库坝区有产状陡直、通道发育的强透水性岩石（碳酸盐岩、粗砂岩等）与不（弱）透水岩石（页岩、变质岩等）相间迭置、排布，或者刚硬岩石（体）为后期构造作用形成的众多陡倾角断层裂隙所切（分）割；

④有顺河床、库岸延伸的断裂系统挟持的槽（洼）地或峡谷。

需要指出的是，以上诸环境因素只有恰当地组合成一个有利于库水渗透～储积～诱震的统一体（系统），才有可能诱发水库地震。因此要判断和评价水库能否诱发地震不仅要看库坝区各种环境因素是否具备，还要看所有环境因素是否组合得当，即须查明库坝区诱震环境的总体组合条件^{〔13〕}。

本文为我所水库诱发地震研究项目的一个专题，研究经费由地震科学基金资助。在野外地质调查中，我们得到了辽宁参窝水库管理局、丹江口水利枢纽管理局、东北地震科研监测中心和广东省地震局等单位的支持和帮助，谨此致谢。

参 考 文 献

- 〔1〕高锡铭等, 汉江丹江口水库地震活动, 丹江口水库诱发地震文集, 地震出版社, 1980.
- 〔2〕李坪等, 均邱新裂带和丹江口断裂带上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〕武汉地震大队水库队, 丹江口水库区及其周围地区北西~北北西向构造发育特征, 丹江口水库诱发地震文集, 地震出版社, 1980.
- 〔4〕丁原章等, 新丰江水库诱发地震的构造条件, 地震地质, Vol. 5, No. 3, 1983.
- 〔5〕王妙月等, 新丰江水库地震的震源机制解及其成因初步探讨, 中国科学, No. 1, 1976.
- 〔6〕黄德生等, 柘林水库地震的初步探讨, 中国诱发地震, 地震出版社, 1984.
- 〔7〕李安然, 长江三峡地区地震地质环境与水库诱发地震问题, 地震科学研究, No. 1, 1984.
- 〔8〕Gough, D. I and Gough, W. I, Load—induce earthquakes of Lake kariba, Geophys. J. R. Astr. Soc., Vol. 21, No. 1, 1970.
- 〔9〕Gibbs, J. F, Kealy, J. H., Raleigh, C. P. and Coakhey J., Seismicity in The Rangely Colorado area, 1962~1970, Bull. Seismolo. Soc. Am, Vol. 63, No. 5, 1973.
- 〔10〕H. V. 古普塔, B. K. 拉斯托吉著, (王卓凯等译) 水坝与地震, 地震出版社, 1980.
- 〔11〕钟以章, 辽宁参窝水库地震问题的讨论, 地震地质, Vol. 3, No. 4, 1981.
- 〔12〕何鉴荣, 丹江口水库发震的水文地质条件, 丹江口水库地震文集, 地震出版社, 1980.
- 〔13〕李安然等, 长江三峡水库诱发地震的总体环境组合条件, 长江三峡工程对生态与环境的影响及其对策研究论文集, 科学出版社, 1987.

ENVIRONMENT FACTORS OF INDUCED EARTHQUAKE OF FOUR RESERVOIRS IN EASTERN CHINA

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

(Abstract) Through geological investigation for four reservoirs of induced earthquake in eastern China, we have researched for various environment factors dealt with in the process of induced reservoir earthquake. This research indicates, the environment factors of reservoir earthquake can be divided roughly into permeating condition of reservoir water and statutory, when these factors exit and combine properly in the same reservoir area as a united system, reservoir induced earthquake will possible occur. Therefore, a very important basis of predicting reservoir earthquake is to find out integral environment conditions of induced earthquake in reservoir area.

Key words, Reservoir earthquake, Environment factors of induced earthquake; Permeating condition of reservoir water; Statutory