

丹江口水库区地震的形成条件与 发展趋势的讨论

李祖武

(国家地震局地震研究所)

摘 要

本文对丹江口水库区地震活动的有利地质条件,海西期以来应力场,地震活动特点,成因与发展趋势都作了讨论。初步认为:丹江口地震活动区处在两组不同的构造线交汇,隆起断块与下降断块接触边缘,差异运动强烈地段以及不同类型岩石的接触部位。地震活动是在特殊水文地质环境下,由于北东东向压应力作用,两组剪切面在水的参与下发生滑动的结果。有利的地质条件是丹江口水库区地震活动的主因,库水引起的垂直压力和孔隙压力是次要因素。在发展趋势上,1973年11月29日4.7级地震可能就是157米水位线诱发的最高震级。二期工程竣工后,有可能发生5级左右的地震。这一看法,对充分利用丹江口水库使其发挥应有的作用,以及二期工程的进行都可能有一定的参考价值。

一、前 言

丹江口水库是我国解放后建成的大型水利枢纽之一,分汉江库区和丹江库区。前者占据李官桥盆地和浙川盆地;后者占据郧县至老河口的汉江河谷和均县盆地。坝址位于汉江、丹江汇合点以下700米处。坝高97米,库容160亿立方米。1967年11月开始蓄水。蓄水后,库区附近时有地震活动。多年来,许多单位对库区的地震地质背景和地震活动作过不少有益的工作,但对地震的形成条件与发展趋势,仍有不同意见。作者在自己考察的基础上,并结合前人资料,拟就上述问题提出一些个人的看法。

二、库区地震地质条件

库区及邻区现阶段大地构造位置属于华中地洼区的一部份^[1]。在构造体系上属东秦岭纬向构造带^[2]。库区东侧为南襄盆地,西南侧是长期处于隆起状态的武当地穹。汉库南侧

广泛地分布前古生代的片岩、片麻岩、变质火山岩、厚几千米。汉江库以北和丹江库周围则主要是震旦纪、寒武——石炭纪的碳酸盐建造，碎屑岩建造，厚达20000米左右。白垩——第三系为内陆河湖相堆积的红色砾岩、砂岩、泥岩，主要分布于李官桥盆地、浙川盆地、上寺盆地、均县盆地，厚2000余米。第四系堆积物主要分布于汉江河谷和李官桥盆地，厚100余米。

由于多次构造运动的影响，库区周围中生代以前的岩层褶皱强烈，断裂颇多。古生界及其以前地层在近南北向——北北东向压应力作用下，形成了一系列规模巨大的走向近东西——北西西（北60°—70°西）的紧密线状倒转褶皱（如大寨背斜、裴家营向斜、大龙山背斜、黄峰垭向斜等）和逆断层（如汉江断裂、均邱断裂、上寺断裂、公路断裂）以及伴生的一对北北西向，北东东向的共轭剪切断裂和近南北——北北东向张性断裂。它们共同构成近东西向构造体系。该构造体系成生时间较早，主要完成于海西期。上寺盆地、浙川盆地是在海西期以后地壳普遍隆起的背景上，以北西西至近东西向断裂为控制边界形成的。这些盆地内的红层（K+R）又在北东东向压应力作用下，形成了一组与盆地总走向呈交角的北北西——北西向（北20°—40°西）的平缓褶皱和逆断层以及有成生联系的北东东向张性破裂和北北东，北西西向一对共轭剪切破裂，如见于李官桥盆地西侧仓房附近的上寺向斜，仓房背斜，孙家凹向斜，丹江口附近的向斜以及发育于黄连树沟上第三系内的逆断层，金家棚上第三系内的逆断层和平移断层以及正断层等等。此一有成生联系的构造形迹，在坝址附近的古老地层内，亦大量出现〔3〕，有如图1所示。另外，海西期形成的北西西向逆断层（金家棚断裂）切割白垩——第三系，具有断面平直光滑，水平错距70余米，水平擦痕清晰，并表现为北盘西错的特征。亦应是北东东向区域应力场作用下的产物。由上可见，丹江口水库区在喜山期仍有一定的活动性。

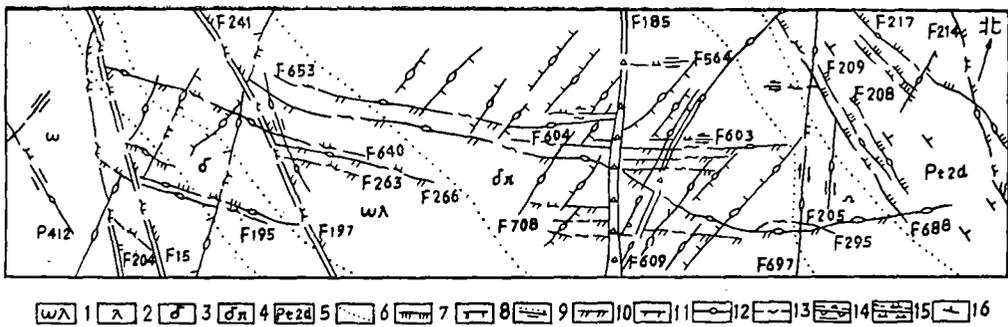


图 1 坝址地段地质构造简图（据何鉴荣等）

- 1. 变质辉长辉绿岩，2. 变质辉绿岩，3. 变质闪长岩，4. 变质闪长玢岩，5. 片岩，6. 岩层界线，7. 压性断裂，8. 张性断裂，9. 剪性断裂，10. 压剪性断裂，11. 张剪性断裂，12. 块状破碎岩，13. 页片状破碎岩，14. 断层角砾岩，15. 糜棱岩，16. 片理产状。

综上所述，本区在两次主要构造运动阶段所形成的构造系统有一定的交角，构成一幅复杂的应变图象。早期结构面往往为晚期结构面所改造，晚期结构面又追踪或迁就早期结构面而发育。致使前期断层面力学性质发生转变，呈现出复杂和多期活动的特点。

新华夏系构造形迹在库区并不明显，北北东向压性结构面，至今未发现。

关于沿丹江河谷(马蹬——丹江口段)有无南北向大断裂的问题,长办勘测处第一勘测队的同志认为沿丹江河谷不存在南北向大断裂¹⁾。但李坪等²⁾、郝用威³⁾及作者⁴⁾在有关文章和报告里,都曾论证过沿丹江河谷有近南北或北北西向大断裂或破裂带存在。

最近卫星象片判读资料,亦认为沿丹江河谷附近有一近南北向断裂通过,近期并有一定活动性。此与印度柯依纳水库沿近南北向河道的破裂带在地表没有位移迹象相类似^[4]。

据长办资料,区内第四纪沉积物中还有断层形成。如切割中更新统红色粘土姜石层的陶岔第四纪断层。该断层走向北西西,属压——剪性断层⁵⁾。此与喜山期区域应力场所形成的北西西向压——剪性断层方位一致。这不仅说明李官桥盆地在黄土层沉积以后,有以断裂形式表现出来的构造变动,而且表明第四纪时的应力场是喜山期应力场的继续。另据原武汉地震大队1974、1975年在陶岔进行的水平四边形测量成果,表明北北西向伸长,北东——北东东方向缩短,通过应变场计算得出最大主压应力轴方向仍是北东东——南西西⁶⁾又可见现今主压应力方向仍与喜山期应力场相一致。本区多级夷平面、阶地、层状溶洞发育,朱连山、汤山、禹山标高180米的山顶上,普遍可见第四纪砾石,山脚还有温泉出露。以上事实,都说明本区在新构造期具有一定的活动性。不仅有大面积抬升,而且还具有垂直升降差异运动、断裂运动存在。沿丹江河谷北北西向的最新差异运动带与蓄水后的地震活动带相吻合。直至最近,水准测量成果表明,蓄水后,库区地壳下沉年速率平均为2.8毫米,大致相当于蓄水前的三倍。距水库近的点下沉量大,远离水库的点下沉量小。在汉库,丹库所夹持的瓦房、仓房一带,则出现上升,北西西向的均郢断裂,汉江断裂,未发现明显的变动迹象。

丹江口库区及其周围分布的各种岩石,大体上可分为有利于库水入渗的灰岩和不利于库水入渗的变质岩(片岩,片麻岩)、砂泥质岩两类。在这两类岩石交界附近,如林茂山、宋湾、玉皇顶等地往往有地震发生。这除与构造活动有关外,还可能与由岩石而引起的特殊水文地质条件有关。因为这些地方不仅大量地分布有垂直式岩溶管道(如关防滩一带的八仙洞,老虎洞、金鱼洞等)极其发育的古生代碳酸盐岩层和从关防滩至肖河峡谷大致沿北北西——北西,北北东——北东向两组断裂,可成为库水下渗的通道,而且丹江河谷以东又大量地分布有透水性小的红层成为地下水由西向东排泄时的屏障。这对促使库水沿着灰岩裂隙,岩溶管道以及灰岩与红层不整合面向深部渗透,并形成水体局部集中,使孔隙水压力增大,增强岩石润滑性,减少摩擦力而诱发或触发地震是有利的。反之,片岩大量分布的汉库和红层大量分布的丹库中央(李官桥盆地)地震很少。此或许与片岩,红层透水性小,不利于库水往深处入渗有关。这同米德湖储水量最大的东部盆地,因不透水的岩盐和粘土层大量分布,阻隔了库水和下伏断层之间的水力联系,致无地震活动的情况相类似^[6]。

以上所阐述的大地构造背景,地质构造特征和活动性以及岩石组合特性和水文地质环境,对丹江口水库区的地震活动有很明显的控制作用(图2)。

1) 长办勘测处第一勘测队,对丹江“南北向大断裂”的初步看法,1975。

2) 李坪等,丹江口地区均郢断裂性质的研究并论本区的地震地质条件,1963。

3) 郝用威,丹江口水库地震地质基本特征,湖北地质科技情报,第1期,1978。

4) 李祖武,水库地震与地质结构的关系,1978。

5) 长办勘测处第一勘测队,陶岔第四纪断裂的研究,1977。

6) 据袁廷林等人工作报告。

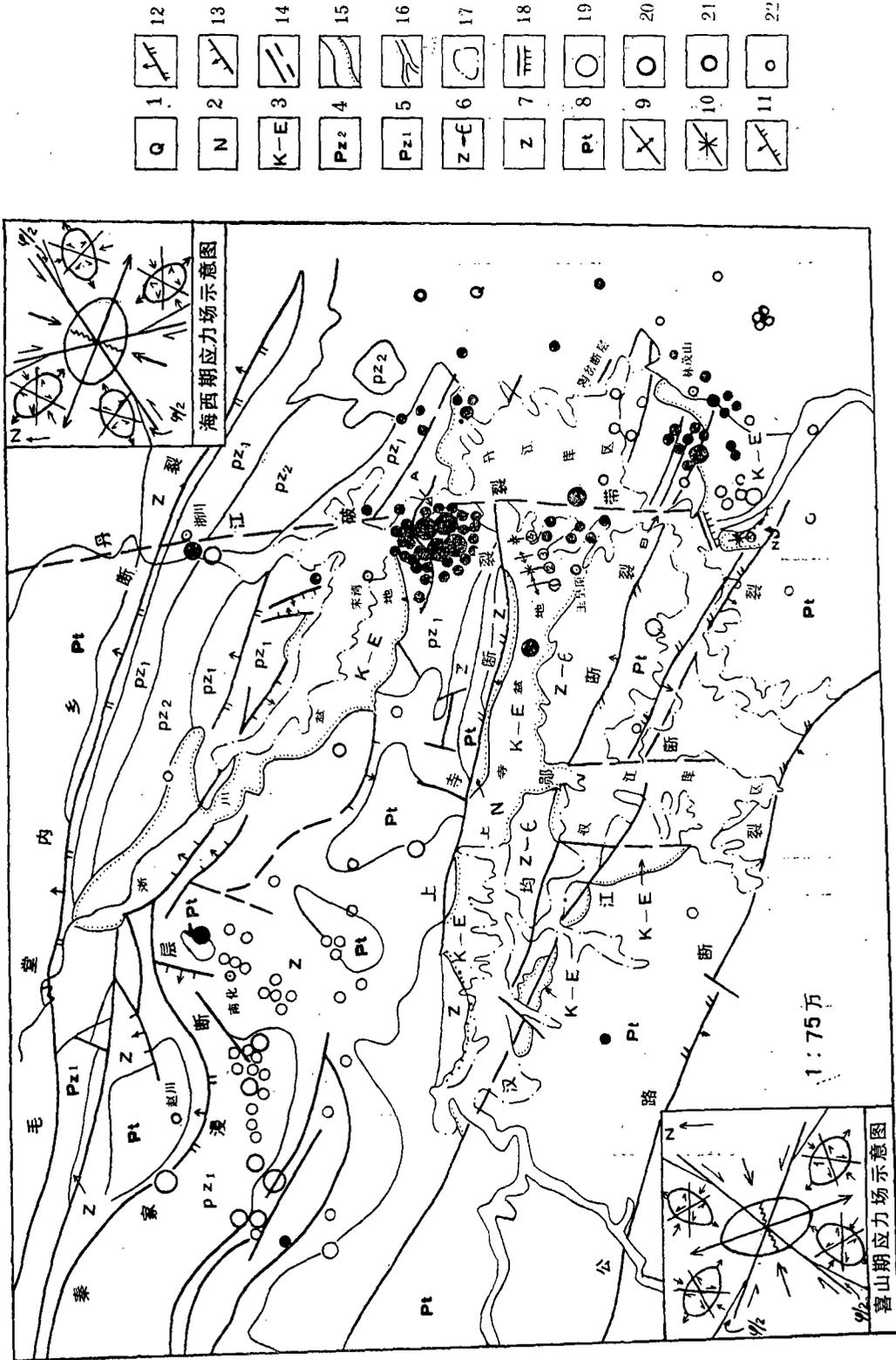


图2 丹江口水库及邻区地质构造与震中分布略图(据原武汉地震大队及水文地质队资料编汇)

1.第四系; 2.上第三系; 3.白垩—下第三系; 4.上古生界; 5.下古生界; 6.震旦系—寒武系; 7.震旦系; 8.元古界; 9.背斜; 10.向斜; 11.逆断层; 12.压—剪性断层; 13.正断层; 14.性质不明和推测断层; 15.地层界线; 16.河流; 17.水域边缘(海拔170米); 18.坝址; 19.4.0<Ms<5.0; 20.3.0<Ms<4.0; 21.2.0<Ms<3.0; 22.1.0<Ms<2.0(空心圈为蓄水前地震, 黑圈为蓄水后地震)。

A—关防滩峡谷; B—肖河峡谷; ①—贾家寨背斜; ②—上寺向斜; ③—仓房背斜; ④—孙家凹向斜; ⑤—丹江口向斜。

Q	1	12
N	2	13
K-E	3	14
Pz2	4	15
Pz1	5	16
Z-E	6	17
Z	7	18
Pt	8	19
X	9	20
*	10	21
○	11	22

三、地震活动概况

据历史文献记载,丹江口水库所在淅川,均县,郧县和邻近的内乡、邓县、光化,从十六世纪到1959年三峡台网建立为止,Ⅳ—Ⅴ度的有感地震共43次。从1959年三峡台网正式记录起到1967年11月蓄水前,库区及其周围发生2级以上的地震共104次。其中以1964年地震次数最多,达52次,占总数50%,最大震级为4.6级¹⁾²⁾。这一时期的震中主要分布于赵川以南的何家井——南化塘和丹江口——光化——赵岗一带。前者位于丹江以西,汉江以北的山区,距汉库边缘25公里。这里北西西向构造发育^[6]。该带又以1963年10月——1965年5月地震活动较为频繁,震中呈北西西向展布,与构造线方向一致,并于1964年9月5日在何家井附近发生4.6级地震。后者震中位置较分散,多在沉降带边缘,距大坝较近。1959—1960年地震活动仅有24次,其中宋湾、黄庄6次,赵岗、丹江口18次。最大震级3级(M_L)。

水库蓄水后,1967年11月至1979年10月,丹江台网记录库区地震共450余次,其中2级以上的地震占71次³⁾。地震活动主要分布于丹库边缘。震中在宋湾瓦房沟、玉皇顶,林茂山又相对集中,形成三个密集区。其连线大致呈北北西向,与丹江破裂带大致平行。宋湾震中密集区既是在陈庄——南沟断裂,白庙——殷家鼻断裂与丹江破裂带交汇点附近,同时也是在山地与淅川盆地、李官桥盆地三者的接触处。玉皇顶震中密集区既是在上寺断裂与丹江破裂带交汇南侧,同时又是在上寺盆地与山地,李官桥盆地的接触部位。林茂山震中密集区处于北西西向断裂与丹江破裂带交汇部位东侧,同时也位于由古生代地层组成的隆起断块与下降断块的接触部位附近。可见以上三个震中相对密集区,基本上都是位于两组构造线和正负构造单位的交汇部位上。

据原武汉地震大队历年总结报告,水库蓄水后的地震活动,大致可分为以下几个阶段:(图3)

1967年11月——1969年8月 水位低于130米高程,库区没有 $M_s \geq 1.2$ 级的地震活动。

1969年9月——1971年10月 水位由130米上升至145米。1971年1月起,库区连续发生 $M_s = 1.2—3.1$ 级地震20次。开始形成蓄水后的地震活动,地震分布在水库周围,但还比较分散。

1971年11月——1972年4月3日 水位上升到150米,地震震中逐渐向林茂山和宋湾两个地区收缩,形成两个密集区,并于1972年4月3日在林茂山发生了 $M_s = 3.5$ 级地震。该地震是在水位上升至150.37米之后141天,水位又下降至144米高程时发生的。极震区范围顺南襄盆地边缘呈北东东向伸展,震源深度9公里,断层面解为北东东向,主压应力轴方向为北西西。具有比较完整的前——主——余震型序列。

1972年4月——1973年9月 水位经由高水位下降至1973年的低水位,然后又急剧上升。地震活动仍主要集中在林茂山。宋湾一带比较平静。

1973年10月——1974年8月 水位上升至近年来最高水位(157米),1973年11月29日

1) 中国科学院地质研究所,我国四大水库的地震地质特点及勘测中的五强溪水库的地震预测意见,1975。

2) 湖北省水文地质大队,关于汉江,丹江口水库地震地质,1977。

3) 据丹江地震台陈步云同志统计结果。

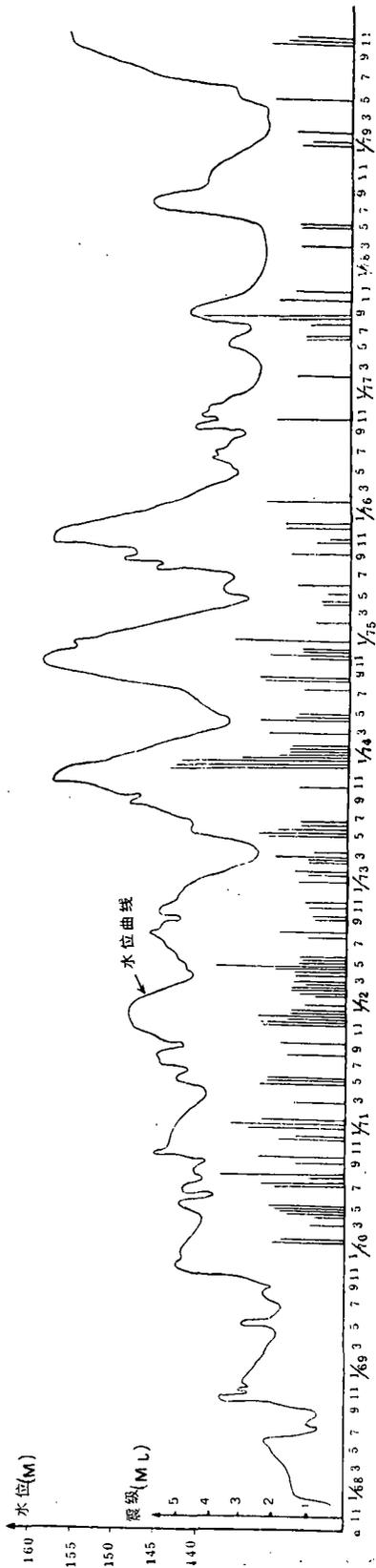


图 3 1968年——1979年丹江口水库区地震活动与库水位变化曲线

在宋湾瓦房沟发生了 $M_s = 4.7$ 级地震，并在几天之内又连续发生 $M_s = 4.2$ 、 4.2 、 4.6 级三次较大地震和一系列小震而逐渐衰减下来。它们也是在水位急剧上升至 156.74 米之后 42 天，水位又急剧下降至 154.21 米高程时发生的。震源深度 9 公里，震中烈度 VI 度强。最内圈等震线长轴作北西向延伸，断层面解为北北西向，压应力轴为北西西向。震中距丹库边缘仅一公里。属中强度震群型序列。

1974年 9 月——1979年 8 月 水位于每年汛期升高，有的年份还曾达到 157 米最高水位，而后又下降，地震殊少，仅 30 余次。震中比较分散，处于平静状态。只在 1978 年 8 月 6 日水位由 134 米上升至 143 米时，在玉皇顶附近发生过 $M_s = 3.8$ 级地震，震源深度 9 公里，震中烈度 V 度，最内圈等震线长轴方向呈北北东向，断层面解亦为北北东向，压应力轴为北东东向。前、余震皆不明显，属孤立型序列。玉皇顶地区自水库蓄水以来，记录到的地震虽比林茂山、宋湾两个地区少，但也自成一体。与林茂山，宋湾都有一定距离，故另划一区（参看图 2）。

1979年 9 月——11 月 水位于 1979 年 10 月 3 日达到 156.49 米，然后又下降至 155.24 米。10 月 22 日——25 日在宋湾瓦房沟附近又有一群小震活动，共计 34 次。最大震级 $M_L = 2.6$ 级，最小震级 $M_L = 0.8$ 级，频度略有提高，震级仍然偏低。

据上所述，丹江口水库区的地震活动，具有以下一些特点：

无论在水库蓄水前（包括历史及近期）还是蓄水后，库区及其周围皆有地震发生。从 1959 年至目前，2—4.7 级的地震震中在不同活动期内集中分布于不同的带状地区内。延伸方向基本上与区内的断裂线相吻合。蓄水前的震中呈北西向分布。蓄水后的震中呈北北西——北西向分布，其主要活动期为 1972——1973 年。

水库蓄水后, 库区周围的地震频度、强度比蓄水前都有显著提高。但如从赵川与宋湾等地处于同一大构造带内, 有其一致的应力作用方式以及又按W、D辛普逊提出水库地震以25公里范围为限的意见考虑, 则水库蓄水前后的地震活动频度、强度, 似乎相差不大。

水库蓄水早期地震活动与库水位有明显正相关性并具时间滞后的特点, 而水库蓄水经过一段时间并发生过较大地震之后, 水位与地震活动的正相关性就越来越弱。此与新丰江水库1959年蓄水, 随着水位上升, 地震活动增强, 1962年3月19日6.1级主震发生后, 水位与地震活动关系, 日见衰弱的情况相类似〔7〕。

从下表可以看到, 地震活动表现出弱→强→弱的现象和逐渐衰减的总趋势, 亦与新丰江和国外许多水库区地震活动特点相符。

丹江口水库区蓄水后历年地震次数统计表*

震次	年 份									
	70年	71年	72年	73年	74年	75年	76年	77年	78年	79年10月底止
$M_L > 2$	14	9	2	24	6	0	2	1	0	11
$M_L < 2$	10	24	123	134	40	9	4	5	3	28
总计	24	33	125	158	46	9	6	6	3	39
备注			其中 $M_S = 3.5$ 一次	其中 $M_S = 4.7、4.6$ 各一次, 4.2 二次				其中 $M_S = 3.8$ 一次		

* 1967年12月—1969年底, 库区未建地震台, 无记录, 估计地震次数极少。

林茂山3.5级、宋湾瓦房沟4.7级、玉皇顶3.8级三次地震最内圈的等震线长轴和断层面解以及推求出的压应力方向并不相同。但本区都有与之相适应的结构面存在。由震源机制解所得出的主压应力方向与区域应力并不符合, 但与喜山期北东东向区域压应力作用下所形成的北西西向, 北北东向两组剪切面在水的参与下发生滑动而形成的次级应力场的压应力方向倒很相一致(参看图2)。

四、发展趋势的讨论

在此试图以上述资料为基础, 并结合国内外实例对丹江口水库区地震活动趋势作一初步讨论。

对水库地震的不同成因观, 就会对其发展趋势作出不同估计。因此, 在这里有必要对丹江口水库区地震活动成因作一概述。笔者认为丹江口水库区地震的发生与发展, 有利的地震地质条件是主要的, 水体作用是次要的。由于丹江口处于活动构造区内, 北北西向构造现今仍有活动, 故在形成这一构造的应力作用下, 地壳内的应变能有所积累, 致在水库蓄水前于北西西, 北北西向构造线交汇, 上升断块与下降断块接触部位就发生过 M_L 为 2—3 级的微震 20 余次。表明本区构造活动的应变能强度, 已积累到了一定的程度, 且控制了地震的发生与发展。蓄水后, 地震活动仍基本上沿上述两组不同方向构造线交汇点以及正负断块接触部位发生。宋湾、玉皇顶、林茂山震中相对密集区又处于渗透性好的灰岩与渗透性差的红层接触部位, 有利于库水深循环, 从而导致断裂面上正应力减小与抗剪强度降低, 为深埋岩体中的破裂带或软弱结构面作剪切滑动创造了有利的条件。在上述构造应力场条件下, 地壳内

所积累的应变能，在库水这一外加因素影响下，触发或诱发了地震。故水库蓄水后，水域边缘地震活动频度和强度，超过了蓄水前的活动水平。但在水库蓄水到一定阶段，尤其是4.7级地震发生，大量应变能释放之后，库水位变化与地震活动的对应关系就越来越弱。对这一现象笔者认为，水库蓄水初期，岩石强度、摩擦角、凝聚力有随水位升高而降低，促使构造应力释放的特性，故库水位变化与地震活动表现出一定的对应关系。但在主震以后，由于储存于岩石内的应变能已大量释放，所余无几，短期内又不可能积累起大量应变能；更兼之蓄水到一定阶段后，岩石湿度已达饱和状态，摩擦角、凝聚力已达最小，它们不再随水位而变化，趋于稳定状态，库水诱发或触发地震的作用逐渐消失。从而库水位变化与地震活动的对应关系，越来越弱。总之，构造活动的应变能积累是发生水库地震的内因，是基本条件；而库水是发生水库地震的外因，是次要条件。它只有在构造应力积累已接近或达到岩石强度的临界状态下，才能有诱发或触发地震的作用〔7〕。

基于以上认识，我们便可对丹江口水库区地震发展趋势作一初步估计。

丹江口水库区虽处于活动型的大地构造环境中，但中生代以来的活动程度实不能与世界上已发生过6级以上地震的几个水库区相比。例如，新丰江地区中生代沉积厚度达万米以上，岩性岩相变化急剧，构造变动强烈，断裂多而大，并有中酸性火山喷发岩（上侏罗世）和强烈的花岗岩浆活动（燕山期）。甚至下第三纪至第四纪初期还有七期玄武岩喷发〔8〕。而丹江口地区中生代沉积厚度只有2000余米，褶皱平缓，断裂较少而小，火山岩与大型花岗岩体都未见分布。以上足以说明丹江口地区在中生代活动强度比新丰江地区要弱得多。

在第四纪断裂方面，丹江口地区只有陶岔一条。新丰江地区虽未发现第四纪断层，但据河源断裂切割新第三系形成的向斜轴和成生于第三纪——第四纪初期的玄武岩以及该玄武岩中明显的擦痕，滑动面、蚀变现象，断层崖、三角面以及断裂两侧地貌反差较大，断面上新破碎物未有成岩等现象看，则新丰江地区第四纪时断裂活动强度，仍然很大。新丰江地区有七级剥夷面和七级阶地¹⁾，桂山与新丰江峡谷高差达1000余米，而丹江口地区只有三级剥夷面和四级阶地，地形高差仅几百米。这又说明新构造时期以来两地垂直升降运动不同，并且新丰江的强度大于丹江口地区。

新丰江流域及其邻近地区，沿北北东向断裂带分布有21个温泉（其中库区内有11个）¹⁾，而丹江口地区只有一个温泉。如果说，温泉的分布与地壳活动性关系密切，构造断裂形成及其重新复活是温泉形成的直接原因，温泉密集区（带）与温泉稀少区从较小范围内又反应构造活动差异性的话〔9〕，则新丰江地区活动强度又大于丹江口地区。

水库蓄水后，地震活动不论频度、强度，新丰江远比丹江口地区强烈。新丰江最大震级为6.1级，丹江口为4.7级。新丰江蓄水20年，发震总次数接近30万次；而丹江口蓄水12年，发震总次数只450次。在蓄水后12年相同时间内，新丰江发生 $M_s \geq 0.2$ 级的地震达20余万次。两者亦不可相比。

通过水准测量得知的地壳现代形变量，新丰江地区亦比丹江口地区大得多。丹江口蓄水后，沉陷区垂直形变量（至1970年止）年速率平均值只有-2.8毫米，而新丰江蓄水后垂直形变量年均值最高可达+8.28毫米〔7〕。

1) 广州地理所，新丰江流域地貌及新构造运动调查报告，1964。

以上事实,皆可说明丹江口地区不仅在中新生代时地壳活动强度低于新丰江地区,而且新构造时期乃至现代地壳活动强度亦远不及新丰江地区。因此,新丰江地区地震频度高,而丹江口地区地震频度低,应是由于基本条件有差别所导致。水位高低和库容大小不是主要的。

从新丰江,柯依纳、胡佛、卡里巴、克雷玛斯塔许多水库震例看,地震活动都呈现弱→强→弱的活动规律。即主震发生后,就呈现出衰减,走向稳定平息的过程。虽然,地震活动时强时弱,波状起伏,但不致于改变地震序列发展的总趋势。周群力用断裂力学观点研究新丰江水库地震机理亦得出“荷载条件不再变化,由一定蓄水位对某一裂面引起的水库地震将逐渐平息”的结论^[10]。丹江口地区1973年11月发生的4.7级地震,可能就是丹江口水库区水位处于157米高程的最大震级。

至于第二期工程竣工,水位提高15米,库容达340亿吨之后,有否可能发生6级以上的地震呢?笔者认为可能性很小。据中细粒闪长岩岩石标本重复加载实验结果,每次产生较多的新破裂,其所加应力都相差200巴^[11]。深井注水诱发地震实验亦表明岩体深部需要100巴左右的压力,才能触发或诱发地震^[12]。而水库水位升高15米,增加于库基岩表面上的应力不超过2巴,并且这种垂直静压力是随深度增加而减小的。这样微小的压力增量是不能使岩石产生许多新破裂的。

许多水库蓄水过程表明,地震次数、能量释放与库水位、库容增加并没有明显的对应关系。米德湖在一年半监视期间水位提高7%,荷载增加20%时,其地震次数,能量释放并没有明显的对应关系即是明证^[13]。卡德尔(Carder)亦认为地震次数与湖水位对应关系是随时间而衰减的。

丹江口地区虽处于活动区内,可以有应变能聚集,但新构造时期以来活动程度远不及已发生6级地震以上的水库区(如新丰江)。故发生地震强度不可能太大。更兼之蓄水十二年应变能已得到充分释放,水对岩石的各种作用渐趋消失。因此,水位提高,库容加大,要在原水域范围或老震区内,发生6级以上地震的可能性是很小的。但由于水域范围扩大,水影响的深度和广度增加,故在新淹没区内具有发震构造条件的部位上,发生5级左右的地震还是有可能的。这是因为水的各种作用(如渗透压力,软化岩石等)可以有诱发或触发释放处于临界状态下应力的功能。

以上对于丹江口水库区地震形成条件,成因以及发展趋势的看法,很不成熟,缺乏实验,实测数据,仅为初步探讨。有待于今后在实践中去认识,提高。王方伦同志代绘插图,在此表示谢意。

(本文1980年3月18日收到)

参 考 文 献

- [1] 国家地震局广州地震大队,中国大地构造概要,地震出版社,1977。
- [2] 李四光,地质力学概论,科学出版社,1973。
- [3] 何鉴荣等,丹江口地区地质构造特征。中南地质科技情报,第2期,1975。
- [4] H.K.Gupta and B.K.Kastogi, Dam and Earthquakes, New York and Amsterdam Elsevier Scientific publishing Co, 1976。
- [5] Earthquake Information Bull., Vol. 8, No. 1, 16—20, 1976。

- [6] 汤吉方, 鄂西北郧县南化旋卷构造的初步分析, 中南地质科技情报, 第2期, 1974。
- [7] 国家地震局广州地震大队, 新丰江水库区活动构造与地震的关系, 地质力学丛刊, 第4号, 科学出版社, 1977。
- [8] 李时若, 唐吉阳, 广东河源盆地玄武岩的初步研究, 地质论评, 第3期, 1966。
- [9] 刘承志, 云南温泉之分布规律及其与地质构造的关系, 地质论评, 第3期, 1966。
- [10] 周群力, 从断裂力学的观点对新丰江水库地震机理的探讨, 地震研究, 第3期, 1979。
- [11] 中国科学院地球物理研究所第三研究室实验组, 单轴压力下岩石破裂的初步研究, 地球物理学报, 第19卷第4期, 1976。
- [12] 出国参观考察报告(第一届国际诱发地震讨论会概况及加拿大参观纪要), 科学技术文献出版社, 1976。
- [13] A.M.Kogers and W.H.K.Lee, Seismic Study of Earthquakes in the Lake Mead, Nevada—Arizona Region, Bull. of the Seismological Society of America (1976.10.) .

A DISCUSSION ABOUT THE FORMING CONDITIONS AND DEVELOPING TREND OF THE EARTHQUAKE IN THE DANJIANGKOU RESERVOIR AREA

Li Zu-wu

(Institute of Seismology of State Seismological Bureau)

Abstract

In this paper, the favourable conditions of the earthquake activities in the Danjiangkou reservoir area, stress field since Hercynian period, characteristics of seismicity, cause of its formation and its developing trend are discussed. Our tentative consideration is that, the occurrence of the earthquake activities is due to its different situations and different conditions, i.e. 1) It lies on the intersecting line of two groups of different structure, on the contact border of uplift and subsiding rift blocks and in the section of strong differential movement, which is the contact position of rock in different types, and 2) It occurs under special hydrogeological environment and the action of compressive stress in a direction of NEE and slips owing to its water permeating into two groups of shear surface. The major reason of the earthquake activities in the Danjiangkou reservoir area is its favourable geological conditions. The water in the reservoir gives rise to vertical and pore pressures is the secondary reason. As to

ground water

the developing trend, the earthquake of $M_s=4.7$ occurring in November 29, 1973 may be the highest magnitude^{one} induced by a water level line^{of} to 157 meters high. An earthquake of $M_s=5$ will possibly occur when finishing the project in the second period. This point of view will be worth certain reference to fully utilize and bring into play the effect of the Danjiangkou reservoir and is favourable for constructing the project of the second period.