

湖北省宜都县邓家桥水库 地震诱发机理讨论

杨铁明·

(长办三峡区勘测大队)

提要 本文讨论了湖北省宜都县邓家桥水库诱发地震的机理,认为该库地震的发生与水体荷载关系不明显,但与库区断裂、岩溶等地下水渗流环境有关。根据震源深度与地下水循环深度吻合,认为水向库基深层渗透导致水库基岩石孔隙压骤增是本库诱发地震的主因。

邓家桥水库位于湖北省宜都县长江南岸的低山丘陵区,为一浆砌块石内拱滚水坝,坝高12.65米,库容40万立方米。建坝的目的是发电与灌溉。建坝前该区从未有过地震活动,1979年水库蓄水后,1980年~1985年前后六年间,连续发生了多次有感地震。地震震级介于 $M_s1.1$ 至 $M_s2.2$ 之间,且每次主震之后一月至数月均有有感余震。邓家桥水库连续的地震系列表明,这是一个由水库蓄水后而引起地震的典型震例,有关学者先后撰文进行地震机理讨论⁽¹⁾⁽²⁾。笔者亦曾与有关单位人员赴现场进行地震资料的收集与地震地质条件的调查。本文根据所获资料,从库区地质构造、水文地质环境与地震活动的关系,对该库诱发地震的机理进行讨论。

一、库区地震地质条件

1. 地质概况

邓家桥水库区位于鄂西山地与江汉湖盆的边缘,在构造上属于近东西向褶皱束中的马鞍山向斜东部倾伏端。库区出露地层主要是寒武~奥陶系的碳酸盐岩,深层还有震旦系。后者出露于马鞍山向斜北部的长阳背斜,以白云岩、白云质灰岩为主,下部有一层较薄的砂岩和“古冰碛层”,局部地段缺失,总厚500米。寒武系除底部有一层厚200余米的页岩外,其余为2000余米的灰岩、白云质灰岩。奥陶系为灰岩、生物灰岩,泥灰岩,局部夹少量页岩,厚约300米。整个沉积盖层厚约3000米。库区及邻区构造表现为一系列北西西走向的褶皱,(图1)由北向南分别为长阳背斜、马鞍山向斜、长乐坪背斜、仁和坪向斜。局部小断裂发育。库区内的断裂为北东向和北西向,其中除邓家桥断裂和天堰脑断裂稍大外(图2),其余断裂均较小。北东向断裂普遍见有水平擦痕、垂直擦痕,具压性特征的构造透镜体,以及糜棱

·参加野外地质调查人员有:长办三峡勘测大队曾新平、张光喜,宜昌地质矿产研究所王承辉、张开民,宜昌地区地震局冯选朝,湖北省水文地质大队[郝庄峰]等同志

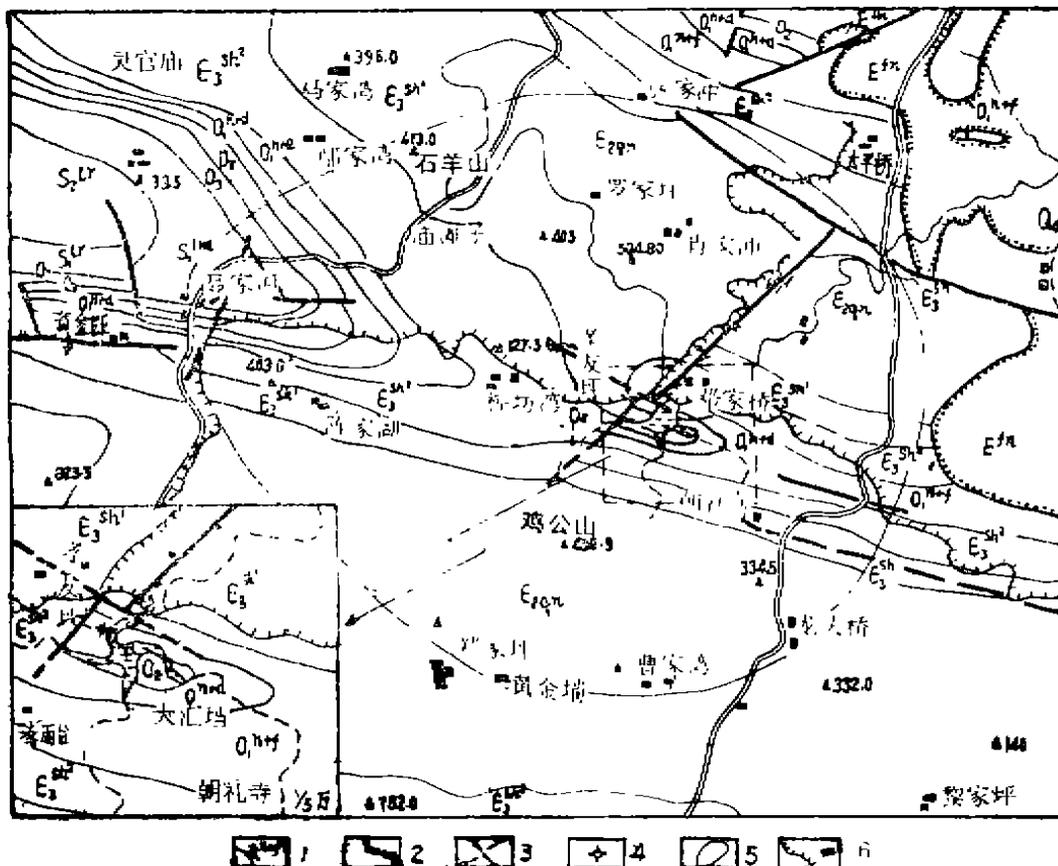


图1 邓家桥水库地震地质图

Fig. 1 Seismogeological map of Dengjiaqiao reservoir

1. 地质界线: 2. 角度不整合界线: 3. 实测及推测断层: 4. 震中: 5. 等震线: 6. 水坝水渠

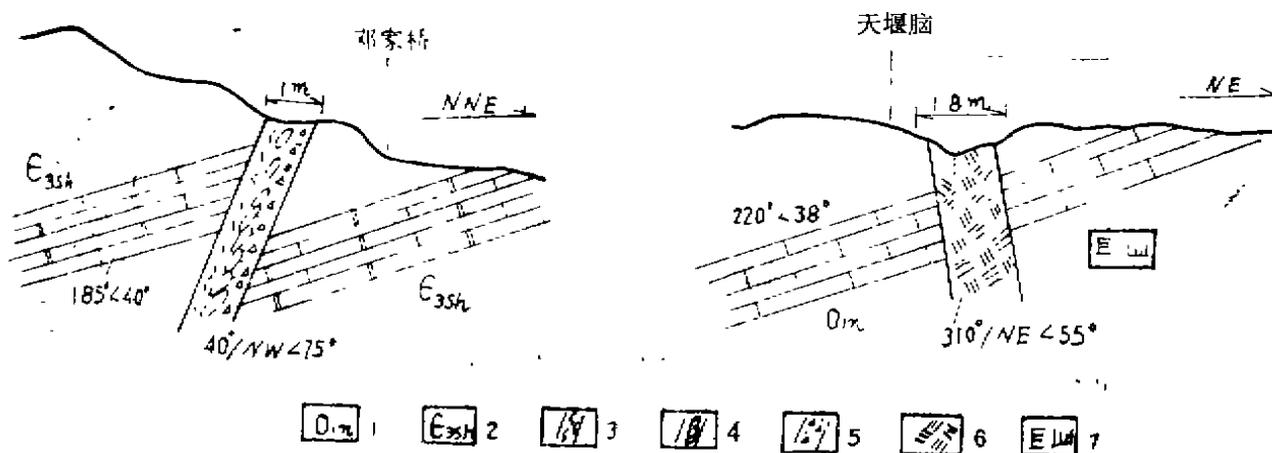


图2 邓家桥断裂与天堰脑断裂示意剖面图

Fig. 2 Sketch profile of Dengjiaqiao fault and Tianjiannao fault

1. 南津关组灰岩: 2. 三游洞群白云质灰岩: 3. 糜棱岩: 4. 挤压透镜体: 5. 张性角砾岩: 6. 重晶石矿脉: 7. 擦痕

岩、角砾岩等构造岩，显示了断裂曾反复活动。北西向断裂规模较小，在水库坝址后坝肩的天堰脑的一条断裂中，有大量显示顺扭的水平擦痕，断裂内富含重晶石矿。邓家桥断裂与天堰脑断裂在库首相交均切割库盆，对水库的渗漏与稳定影响很大。

2. 岩溶水文地质条件

库区岩溶极为发育，有古岩溶、现代岩溶、覆盖岩溶、裸露岩溶等，成因多种，形态复杂，总体表现为阶地~丘陵型组合特征。古岩溶曾经历夷平成准平原，后由第三纪热带气候和第四纪亚热带气候改造而遗留下山顶面成水平线的一系列山丘，比高介于50~100米，丘峰浑圆，丘峰间有大小不等的溶蚀洼地。现代岩溶往往与古岩溶复合，表现为溶沟、溶槽、漏斗、落水洞、地下暗河等。如水库左岸的孝友坪为一巨大的溶蚀洼地，洼地内有两个落水洞，洞径3~5米，两落水洞地下相通成暗河并延伸至库区，目估暗河水流量3~4升/秒。

库区属鄂西南亚热带季风区，气候温暖，雨量充沛，年平均降雨量大于1500毫米，雨季多集中在5~8月，这种季节性暴雨式的降水是区内地下水的主要补给来源。因可溶岩裸露，地表水下渗快，加上水平岩溶和垂直岩溶发育，使地下水具深循环的条件。

二、库区地震活动特征

邓家桥水库于1979年底建成蓄水后不足一年即开始有地震活动。1980年8月1日发生Ms1.1级地震，随后连续发生了多次有感地震。1983年10月3日发生了最大的一次地震(Ms2.2级)。震后，断断续续出现微小有感震群，持续到1985年6月，又发生了Ms1.2级地震，随后又有长久的有感微震系列。根据1983年10月3日的Ms2.2级地震宏观烈度调查结果，等震线近似圆形，长轴略呈北西向(图1)。由震源机制解，得出主压应力方向为北东向，震源深度3公里。在极震区，房屋普遍产生裂缝，土墙抹灰整块震落，房屋掉瓦；大坝附近一供销社货架上的墨水瓶、玩具等物被震落；渠道、堤坝、公路产生长约21米的裂缝；田埂裂缝呈弧形，少数房屋自北向南倾斜，墙壁砖头错位。由此推断，极震区地震烈度达V度强，VI度弱。据水库管理人员介绍，由于库容较小，蓄水以发电为主，即库满就发电，库水枯竭就蓄水。地震活动往往发生于雨季中的暴雨期或库满时节；地震发生时，其声很沉闷(如在水中用炸药炸鱼)；震动系上下连续颤动；震中多位于库首。

三、水库地震成因探讨

目前大多数学者认为水库诱发地震，在库坝区必须具备诱发地震的条件，即库水的渗透和发震构造的存在^{[3][4][5]}。笔者认为邓家桥水库微震系列的发生，主要是水库蓄水后，库水的渗透和岩石中孔隙压增大，使岩石应力提前释放的结果，微震的不同震源深度，大致代表了地下水的深循环的深度，即孔隙压增大的深度。

前文述及邓家桥水库Ms2.2级地震震源深度不足3公里，其余微小震源深度都小于3公里。若以最大深度3公里计，震源恰好位于沉积盖层与结晶岩基底的交界处，故仍属于盖层地震。自第三纪以来，鄂西新构造运动作间歇性的隆起抬升，碳酸盐岩区的地下水向深部渗透，水库区的垂直岩溶和水平岩溶极其发育。水库蓄水前，河谷地带有许多落水洞，拦坝蓄

水后，这些落水洞被淹为地下水向深部渗透提供了良好的通道。库区未见有大的断裂构造，但小断裂和节理裂隙却很发育。前述邓家桥断裂和天堰脑断裂，尽管规模不大，延伸不长，但两断裂都横穿库盆，并在水库中交叉发育，又有利于库水的下渗深循环。此外，奥陶系、寒武系及其下伏的震旦系地层中可溶岩与非可溶岩呈互层，致使库区岩体的渗透性极不均匀。由于地下水渗透不均匀，导致库区孔隙压力不均匀。邓家桥水库库深12.65米，用静水压力公式计算，最大库深时库底荷载约1.3巴，可见仅以水体荷载并不足以促成地震的发生。但考虑到库水通过岩溶裂隙向深部循环，假设达到震旦系上部的灯影灰岩中，（深度约2800~3000米）仍用静水压力公式： $P=P_w(H+h)$ ，（其中 P_w 为水的密度， H 为地下水的深循环的深度， h 为库水的深度）计算，则深处孔隙压可达300巴¹⁾。据有关资料²⁾，当深部岩石作高压渗流管涌试验时，200巴的压力即发现岩体出现弹性扩张，300~400巴渗压，岩石即出现扩张和破裂。已发震的一些水库观察资料³⁾，最大水平主应力值不过100~200巴至300巴，最小水平应力数十巴至百余巴。若库区深部渗压可达300巴，即可大大改变岩石的抗剪强度，使其处于弹性扩容状态。水库蓄水引起的库水不均匀下渗降低了岩体间的摩擦系数，在局部孔隙压相对增高的地段，当其超过岩体的抗剪强度时，岩体中的地应力即提前释放，而发生水库地震。

此外，邓家桥水库地震的发生，与大气降水亦有密切的关系，1980年 $M_s 1.1$ 级、1983年 $M_s 2.2$ 级、1985年 $M_s 1.2$ 级地震，都是发生在当年的暴雨期（图3）这是因为季节性的急雨山洪，能骤然提高库水位，加大地下水的渗透量的缘故。

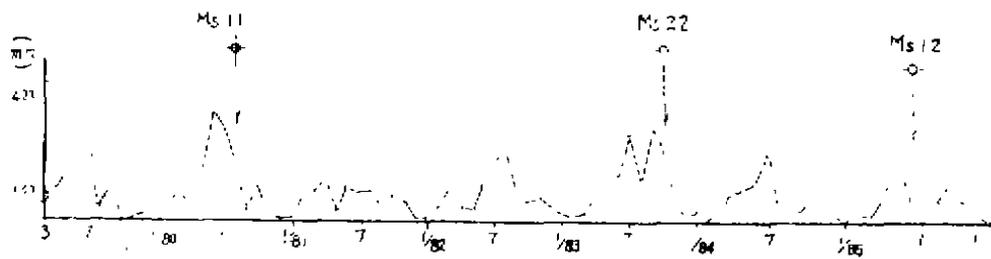


图3 邓家桥水库地震与降雨量对应关系（括冯选朝）

Fig. 3 Relationships between induced Seismicity and rainfall in Dengjiaqiao reservoir (using the map of Mr. Feng Xuanchao as a reference)

考虑到邓家桥水库邻区第四纪以来新构造运动有减弱的趋势，加之库容较小，库区又无区域性大断裂连通，估计其构造应变能的积累不会很高，孔隙压的增加不足以激发中强震。水库蓄水后，微震的连续产生已释放了相当部份地表盖层岩石中的应变能，估计今后会出现一段相对平静的时期。

1) 1巴=10⁵帕

2) 刘国霖，水库地震机理摘要，湖北省宜昌地区地震学术论文集，第三期，1986

3) 胡毓良，关于水库诱发地震的几个问题，湖北省宜昌地区地震学术论文集，第三期，1986，

参 考 文 献

- (1) 刘恩沛, 湖北省宜都县邓家桥水库区地震, 地壳形变与地震, 第1卷, 第2期, 1981
- (2) 冯选朝, 湖北省宜都邓家桥水库地震初析, 黄陵地质与矿产, 第1期, 1984。
- (3) 胡毓良, 我国的水库地震及有关的成因问题, 地震地质, 第1卷, 第4期, 1978。
- (4) 李安然, 初探水库地震的形成机理及其诱发环境, 华南地震, 第7卷, 第2期, 1987。
- (5) 于品清, 水库地震发生的地质构造条件, 地壳形变与地震, 第3期, 1983。

A PRELIMINARY DISCUSSION ON EARTHQUAKE MECHANISM IN THE RESERVOIR OF DENG- JIAQIAO, YIDOU COUNTY, HUBEI PROVINCE

Yang Tieming

(The Exploring Team of Three Groge, Yangtze Valley Planning Office)

[Abstract] This paper discusses the mechanism of induced earthquake in the reservoir of Dengjiaqiao, Yidou County, Hubei Province. It thinks that the relations between the induced earthquake and the reservoir water loading are not so clearly, but it relates to the percolation environment of groundwater which is composed of faults in the reservoir, the development of karst and so on. According to the coincidence between focal depth and the depth of groundwater cycle, it thinks that the induced earthquakes in the reservoir resulted from a sudden increase of pore water pressure which is caused by the permeance of water to the reservoir.