

用灰色系统理论预测辽宁锦凌水库 的诱发地震

钟以章 王国新

(辽宁省地震局)

提要 本文应用灰色系统理论,根据水库诱发地震的主要影响因素,对辽宁省锦凌水库的诱发地震危险性进行了分析、研究,认为锦凌水库今后有可能发生3.5级地震,即使发生地震,其烈度也不会超过库区地震基本烈度Ⅴ度的水平。

关键词 辽宁锦凌水库 诱发地震 灰色预测

广东新丰江水库发生6.1级地震以来,水库诱发地震研究一直倍受我国工程界的重视。

诱发地震研究工作不仅在水库地震的诱发条件、形成机制、成因等方面取得重要进展,而且还在诱发地震预测、预报方面有了重大突破。大量的震例已经证明,水库诱发地震的产生与多种因素有关。寻求不同震级的地震与诸因素的相关关系是预测诱发地震的有效途径。本文试图通过对锦凌水库综合影响系数和渗透性的分析,应用灰色系统理论预测水库蓄水后可能发生的地震,为水库地震危险性评定提供依据。

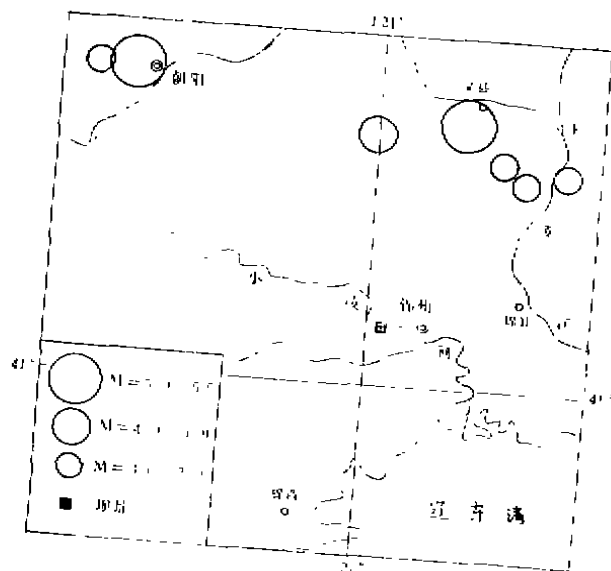


图1 锦凌水库区震中分布图

Fig. 1 Epicentre distribution of the area in jinling reservoir

一、库区概况¹⁾

锦凌水库位于辽宁省锦凌市西北部小凌河上游,坝址在距锦州市区约10公里的沙河堡附近(图1),地理座标为东经 $120^{\circ}06'$ — $121^{\circ}21'$ 。北纬

1) 锦凌水库地震基本烈度鉴定与水库诱发地震预测,辽宁省地震大队,1988。

40°55′—41°21′。水库坝高45.9米，坝长1276.45米，总库容14.96亿立方米，正常蓄水位淹没面积68.6平方公里。

库区出露太古代、古生代和中、新生代地层，岩性主要有碳酸盐岩和火山岩。库区的断裂构造比较发育，东西向的断裂有小凌河断裂。北东向的断裂包括：黄土坎—板石沟断裂，八道河子—二佛庙子断裂，黄甲屯—香磨断裂，刘哈屯—锡匠沟断裂等。北西向断裂规模很小，但比较发育，其中以大屯断裂最为典型，该断裂穿过中生代火山岩，破碎带可宽达50米。此外，北西向的裂隙，节理也很发育。

库区的地震活动水平较低。在坝址周围30公里范围内未发生过破坏性地震（距坝址45公里以外的义县、朝阳历史上曾发生过5级左右地震）。自1970年辽宁省有地震监测台网以来，共记录到8次 $M_s \geq 1.0$ 的地震，其中2.0—2.3级的3次，1.0—1.4的5次，这些小震多集中在坝区以西。

二、水库地震的诱发因素分析

水库诱发地震是指由于水库蓄水而引起库区以及库水所影响的邻近地区新出现的地震现象或者是原有地震活动状态明显改变的现象¹⁾。这是一个极其复杂的地质过程。对于它的形成机制和影响因素，至今还没有统一的看法。最初，有的学者认为诱发地震的产生和库容、库深和库区面积有关。这个事实被一些震例证实。但是，也有一些实例说明，水库地震与上述因素不是一一对应的关系。统计资料不能证明水库地震与各因素的相关性。

根据地震与最大库深（ H_{\max} ）、库容（ V ）和库水面积（ S ）之间关系的研究，文献〔1〕提出用综和影响系数 E 来代替最大库深、库容和库水面积，即 $S = EV / H_{\max}$ 或者 $E = SH_{\max} / V$ ，统计 E 值与震级 M 的关系，得到相关系数为0.586，已超过相应于99%显著水平的临界相关系数0.463，因此，可以认为两者的相关性较好，它们之间的统计关系为：

$$M = 1.204 + 1.204E \pm 0.98$$

式中 ± 0.98 为震级的标准偏差 σ_m 。

用上式对一些发震的水库作检验，效果比较好，使用 E 值可以预测诱发地震。

除了综和影响系数外，岩性与诱发地震的关系也很密切，据夏其发等人的统计，我国14座水库中有11座的震中区与碳酸盐岩石或其它可溶性岩类有关，占总数的78.6%，地震发生在火成岩区的只有2座，占14.3%。国外水库诱发地震的实例也与此类似。在60座发生过诱发地震的水库中，属碳酸盐类岩石区的占46.7%，属火成岩区的占21.7%，变质岩和沉积岩区诱发地震的震例较少，但强度最大的地震发生在裂隙发育的火成岩区。松软未固结的沉积层中没有诱发地震的实例。碳酸盐岩发育区发震几率高的原因可能是岩溶区有利于库水渗透，当水渗入到深部就容易诱发地震。如其说诱发地震与岩性有关莫不如说与岩石的渗透性有关。所以，岩石的渗透性可以作为判别诱发地震的一项标志。R. A. 费里泽的资料说明^{〔4〕}，裂隙发育的火成岩渗透性最好，碳酸盐次之，裂隙不发育的火成岩、变质岩渗透性最差（图1）。而诱发地震的强度和频度正好与岩石的渗透性相对应。

1) 中国水库诱发地震的地质特征，夏其发等，1984。

$$Y_{ij}(x) = \begin{cases} \alpha_{ij}x & x \in (0, \lambda_{ij}(2)) \\ Y_{ij}(s) & x \in (\lambda_{ij}(2), \infty) \end{cases} \quad (1)$$

$K=2, 3, \dots, P-1$ 类时, 对于 j 要素的标准函数为:

$$Y_{ki}(x) = \begin{cases} \alpha_{ki}x & x \in (\lambda_{ki}(1), \lambda_{ki}(2)) \\ -\alpha_{ki}(x - \lambda_{ki}(2)) + Y_{ki}(s) & x \in (\lambda_{ki}(2), \lambda_{ki}(3)) \end{cases} \quad (2)$$

$K=P$ 类时, 对于 j 要素的标准函数为:

$$Y_{pi}(x) = \begin{cases} Y_{pi}(s) & x \in (-\infty, \lambda_{pi}(2)) \\ -\alpha_{pi}(x - \lambda_{pi}(2)) + Y_{pi}(s) & x \in (\lambda_{pi}(2), \lambda_{pi}(3)) \end{cases} \quad (3)$$

以上各式的 X , 即为 d_{ij} .

(2) 定标准权。

从标准函数看, 对于 $Y_{ki}(S)$ 有相应的 $\lambda_{ki}(2)$, 为此, 有以下变换:

$$T1: \{Y_{ki}(S)\} \rightarrow \{\lambda_{ki}(2)\}$$

上式中 $\{Y_{ki}(S)\}$ 为 $Y_{ki}(S)$ 的全体, $\{\lambda_{ki}(2)\}$ 为 $\lambda_{ki}(2)$ 的全体。规定标准权为:

$$\eta_{ki} = \frac{\lambda_{ki}(2)}{\sum_{j=1}^n \lambda_{ki}(2)} \quad (4)$$

(3) 计算实际权重, 先通过下式求分类系数

$$\delta_{ik} = \sum_{j=1}^n Y_{ki}(x) \cdot \eta_{ki} \quad (5)$$

然后构造类型向量

$$\delta_i = \{\delta_{i1}, \delta_{i2}, \delta_{i3}, \dots, \delta_{iP}\} \quad (6)$$

类别的划分是取 (6) 式中的最大元素 δ_{ik}^*

$$\delta_{ik}^* = \max \{\delta_{ik}\} \quad (7)$$

以 δ_{ik}^* 判断预测对象属于第 K^* 个典型类别。

2. 资料处理及预测结果

(1) 预测指标及标准函数

根据上述两种预测要素, 将水库诱发地震区分为四类, 认为 I 类具有发生 6 级以上地震危险性, II 类为 4.0—5.9 级地震危险, III 类为 2.5—3.9 级地震危险, IV 类为不具备发生诱发地震的条件。预测要素 j 有两个, 一是渗透系数 K , 另一个是综合影响系数 E 值。

两种要素按 4 类预测类型划分灰色数作为预测指标 (表 1)

根据表1所给出的灰色指标,按(1)~(3)式可以求得标准函数

$$Y_{jk}(x) \quad j=1, 2, K=I, II, III, IV.$$

表1 划分诱发地震类别的灰色指标

Table 1 Greg target of dividing the type of induced earthquakes

数量 预测要素	I	II	III	IV
E 值	$Y_{11} > 3.7$	$Y_{12} = 3.0$ 左右	$Y_{13} = 2.7$ 左右	$Y_{14} < 1.5$
渗透系数K (达西)	$Y_{21} > 100$	$Y_{22} = 10$ 左右	$Y_{23} = 1$ 左右	$Y_{24} < 0.1$

E值对于4种类别的标准函数可以用图3来表示。K值对于4种类别的标准函数可以用图4来表示。

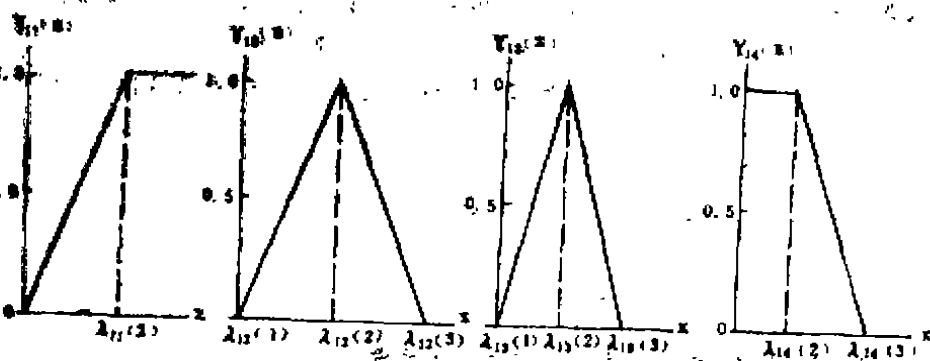


图3 E值标准函数

Fig. 3 Standard function of E value

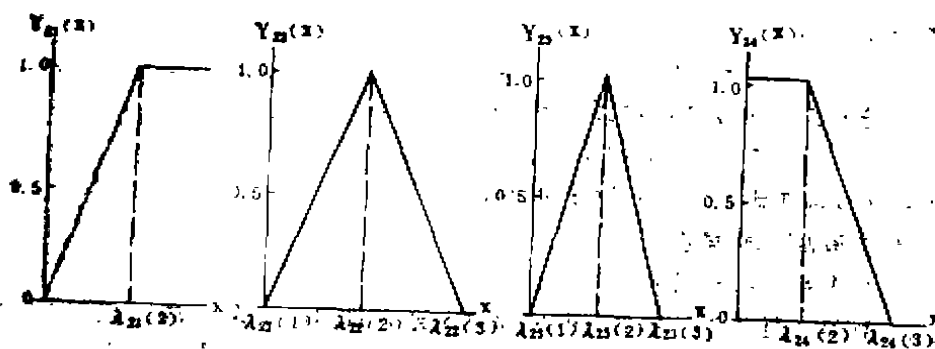


图4 K值标准函数

Fig. 4 Standard function of K value

(2) 定标准权

在计算标准权之前, 为了便于计算需要对已得到的灰色指标作标准化处理, 其公式是:

$$X_i = \frac{X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (8)$$

按(8)式可求得综合影响系数E值的标准化灰色指标为: 1.78、1.36、1.22、0.68、渗透系数K的标准灰色指标为: 1、0.1、0.01、0.001。

由(4)式可分别求标准权重

$$\eta_{11} = \frac{\lambda_{11}(2)}{\sum_{i=1}^2 \lambda_{i1}(2)} = \frac{1.78}{1.78+1} = 0.64$$

$$\eta_{21} = \frac{\lambda_{21}(2)}{\sum_{i=1}^2 \lambda_{i2}(2)} = \frac{1.36}{1.78+1} = 0.36$$

同理可以得到:

$$\eta_{12} = 0.932, \quad \eta_{22} = 0.068$$

$$\eta_{13} = 0.992, \quad \eta_{23} = 0.008$$

$$\eta_{14} = 0.999, \quad \eta_{24} = 0.001$$

(3) 评定结果

在求得标准函数和标准权重之后, 由实际样本值 d_i 按(5)式计算分类系数 ϕ_{ik} , 将 $d_1 = 1.9$, $d_2 = 0.5 \times 10^{-1}$ 代入得到, $\phi_{11} = 0.328$, $\phi_{12} = 0.589$, $\phi_{13} = 0.698$, $\phi_{14} = 0.667$,

构造诱发地震类型向量

$$\phi_i = \{\phi_{i1}, \phi_{i2}, \phi_{i3}, \phi_{i4}\} = \{0.328, 0.589, 0.698, 0.667\}$$

其中 ϕ_{13} 为最大, 判别属于Ⅲ类, 即为2.5—3.9地震区。

按灰色理论预测, 辽宁省锦凌水库蓄水以后有可能诱发2.5—3.9级地震, 如果用文献〔1〕提出的公式, 将 $E=1.9$ 代入, 可求得诱发地震的震级为3.5级, 要是加上标准差最大震级将不超过4.5级。尽管诱发地震的震源很浅, 即使发生地震, 其烈度也不会超过库区的地震基本烈度Ⅶ度的水平。

灰色系统理论是一种较新的理论, 它是控制论的延伸, 是控制论和运筹学相结合的产物。它能在预测、决策、规划和系统分析等方面发挥作用。这个理论的优点在于能将信息不全的离散数据转换成信息完全时间连续的动态模型, 使有限的白色数据(信息)得到充分的利用。诱发地震的研究目前还处于探索阶段, 对于各个诱发因素的认识, 目前还很不够。在当前信息很少的情况下, 灰色系统理论为诱发地震的研究提供了有效的方法。本文所作的研究仅仅是一种尝试, 但我们相信, 由于该方法有很大的优越性, 在今后的诱发地震研究中, 将会得到广泛的应用。

- (1) 常宝琦等, 水库规模与水库地震震级的关系, 华南地震, 第7卷, 第1期, 1987。
(2) R. A. 费里泽, J. A. 彻里著, 吴静方译, 地下水, 地震出版社, 1987。

PREDICTION OF THE INDUCED EARTHQUAKE OF JINLING RESERVOIR, LIAONING PROVINCE

Zhong Yizhang Wang Guoxin

(Seismological Bureau of Liao Ning province)

(Abstract) According to the main affecting factors on the induced earthquake, this paper presents an analysis of the dangers of induced earthquake in jinling reservoir by using the grey theory. The researched result shows that a earthquake with magnitude of 3.5 will occur at Jinling reservoir, Liaoning province in the future.

(Key words) Jinling reservoir of Liao Ning Province, Grey prediction,
Induced earthquake