

# 广东省大中型水库土坝的地震危害性的初步评估

雷宝琦、陈仁法、吴 鹏

(广东省地震局)

**摘要** 众所周知,水库是可能产生灾难性地震灾害的工程之一。广东省现有大中型水库近三百座(图1),其中土坝占93%。这些水库大多已建成数十年,建库当时也未充分考虑地震影响。为了响应“国际减灾十年”的号召,有关部门要求对这些水库的土坝进行震害预测,以便进行科学的工程决策,达到减轻地震灾害的目的。显然,这项任务既重要又繁重。为此,提出两步评估方法,第一步为初评(或称速评),初评认为地震危害性不高的土坝,原则上可不再进行第二步——详评,这样,大大减少了详评的工作量。已完成的初评结果表明,需进行详评的土坝占全部土坝的12%。

**关键词** 地震危险性 地震危害性 土坝水库

## 一、土坝地震危害性初评方法

利用泊松分布和全概率公式<sup>[1]</sup>,土坝的地震危害性可表示

$$P(S_i) = 1 - \exp(-v_i T) \quad (1)$$

$$v_i = \sum_1 P(S_i/I) (v_i - v_{i+1}) \quad (2)$$

式(1)、(2)中, $P(S_i)$ 即为土坝的地震危害性,即土坝蒙受重于震害等级 $S_i$ 的概率; $v_i$ 为震害等级 $S_i$ 的年发生率; $P(S_i/I)$ 为当发生烈度 $I$ 的地震时,土坝产生震害等级 $S_i$ 的概率,即土坝的“易损性”; $v_i$ 和 $v_{i+1}$ 为坝址产生烈度为 $I$ 和 $I+1$ 地震的年发生率,即“地震危险性”。显而易见,土坝的地震危害性与土坝的“易损性”和坝址的“地震危险性”即“内因”和“外因”两方面因素有关,因此评估土坝的地震危害性,必须对土坝的易损性和坝址的地震危险性进行分析。

## 二、坝址地震危险性概率分析

地震危险性概率分析方法已广泛应用,主要包含3个环节:

### 1. 潜在震源区的划分及其地震活动性参数的确定

所谓潜在震源区是指坝址周围地区内(本研究取坝址为中心250km范围,以下简称“影响区”)未来可能使坝址产生破坏性影响的潜在发震区。潜在震源区的划分主要依据区

域地震地质、地震活动性、深部地球物理场特性等资料圈定。根据本项工作所涉及的各水库的“影响区”（东经108°—119°，北纬18°—27°）的上述资料。共划分出37个潜在震源区（其中主要的17个列于表1）。

表1 潜在震源区及其地震活动性参数  
Tab. 1 potential source area and seismicity parameters

编 号	潜在震源区	地震活动性参数		
		$\beta$	$\nu$	$M_u$
1	珠江北	1.6299	0.0239	5.5
2	珠江南	1.6299	0.0121	6.0
3	珠江外	1.1999	0.0385	7.0
4	阳 江	1.1999	0.0356	7.0
5	湛 江	1.1999	0.0182	6.0
6	徐 闻	1.1999	0.0055	6.0
7	茂 名	1.8299	0.0203	6.0
8	罗 定	1.6299	0.0110	5.5
9	梧 州	1.6299	0.0186	5.5
10	粤 北	1.6056	0.0091	5.5
11	河 源	1.8056	0.0463	6.0
12	海 丰	1.1999	0.0098	5.5
13	南 澎	1.0233	0.0607	7.5
14	潮 汕	1.1999	0.0329	7.0
15	樟 厦	1.1999	0.0453	7.0
16	寻 乌	1.6056	0.0370	6.0
17	台湾浅滩	1.0233	0.0211	7.0

各潜在震源区的地震活动性参数，包括表示大小地震频数比例的 $\beta$ 值、大于背景震级 $M_0$ 的地震年发生率 $\nu$ 和震级上限 $M_u$ ，参考前人完成的有关统计结果以及邻省有关资料的补充统计，17个主要潜在震源区的上述地震活动性参数，也列于表1。

## 2. 地震动参数的衰减规律

除划分潜在震源区并确定其地震活动性参数外，地震危险性分析的另一重要内容是确定影响区内地震动参数的衰减规律。

根据本影响区内16次历史强震的等震线资料，经统计得到地震影响烈度 $I_s$ 与震级 $M$ 和震中距 $R$ 的衰减关系：

$$I_s = 5.8520 + 1.4899M - 1.9986 \lg(R + 25) \quad (3)$$

$$\sigma_I = 0.210$$

式中， $\sigma_I$ 为烈度 $I$ 的统计偏差。

利用美国西部的地震烈度和地震加速度 $a$ 的统计关系和式(3)，可转换出本影响区平均土质条件下的加速度峰值 $a$ 的衰减关系：

$$\lg a = 6.587 + 0.495M - 1.149 \lg(R + 25) \quad (4)$$

$$\sigma_{\lg a} = 0.323$$

### 3. 地震危险性概率分析

确定潜在震源及其地震活动性参数以及地震动参数的衰减规律是地震危险性分析的前提。下面简介分析方法。

(1) 分析模型的选择。地震危险性分析方法虽有多种,但就地震复发模型而论,有均匀和非均匀两类。本影响区地震活动水平不算高,但中小地震时有发生,且相对比较均匀,因此采用了均匀泊松复发模型。对于潜在震源区则视为具有零长破裂的等效点源。

(2) 分析方法。假定地震动强度  $S_0$  给定,场址遭受不小于  $S_0$  这一事件的年期期望数  $n_E$  ( $S > S_0$ ) 已知,运用泊松分布,未来  $t$  年内场址至少发生 1 次不小于  $S_0$  事件的概率为

$$P \{n \geq 1 / S_0, t\} = 1 - \exp \{-n_E (S > S_0), t\} \quad (5)$$

$$n_E (S > S_0) = v \int_0^R \int_{M_0}^{M_u} K \beta P \{S > S_0 | m, r\} \exp \{-\beta (m - M_0)\} f_R(r) dm dr \quad (6)$$

$$P \{S > S_0 / m, r\} = \varphi \{ \ln Y - b_1 - b_2 M - b_3 f_{ln} (R + 125) \sigma_{\ln Y} \} \quad (7)$$

式中,  $\varphi$  为正态余补函数;  $Y$  为地震动参数,  $b_i$  分别为式 (3) 或式 (4) 中的系数;  $f_R$  ( $r$ ) 为距离分布函数。

## 三、土坝易损性

式 (2) 中表示土坝易损性的  $P \{S_i / I\}$ , 主要来源于土坝震害的实际调查资料。根据国内外土坝震害调查, 土坝的震害虽与很多因素如坝型、坝高、坝坡等有关, 但主要与坝的施工质量有关。考虑到我国土坝的施工方法和所用机具接近, 因此我们根据我国近年发生的几次强震 (如 1975 年海城 7.3 级, 1976 年唐山 7.8 级地震等) 的处于各烈度区的 456 座土坝的震害调查结果, 以震害概率矩阵的形式, 将  $P \{S_i / I\}$  列于表 2。各震害等级的定义及其震

表 2 土坝震害概率矩阵  $P \{S_i / I\}$  (%)  
Tab. 2 Damage probability Matrix for Earth Dam

地震烈度	震 害 等 级 $S_i$			
	完好 ( $S_1$ )	轻微 ( $S_2$ )	较重 ( $S_3$ )	严重 ( $S_4$ )
6	58.3 (77)	33.3 (44)	6.2 (8)	2.3 (3)
7	18.7 (53)	48.9 (139)	21.1 (60)	11.3 (32)
8	7.1 (2)	39.3 (11)	17.9 (5)	35.7 (10)
9	0 (0)	16.7 (2)	16.7 (2)	66.7 (8)

表中, 括号内的数字为土坝数

害描述列于表 3。

表 3 土坝震害等级及震害描述  
Tab. 3 Damage state and damage description of earth dam

震害等级( $S_i$ )	震 害 描 述
完好 ( $S_1$ )	无明显震害
轻微 ( $S_2$ )	土坝仅产生几条规模不大的纵横向裂缝或兼有沉陷, 局部隆起; 防浪墙裂缝; 输水管管身或溢洪道结构轻微裂缝等。凡产生上述一种或一种以上震害者, 均属“轻微”, 下同
较重 ( $S_3$ )	土坝坝基渗漏量稍有增加; 纵横向裂缝在 10—20 条以下, 宽度及长度不大, 或兼有沉陷和局部隆起; 护坡块石稍有松动; 防浪墙裂缝; 输水管启闭塔塔身裂缝稍有倾斜; 溢洪道结构发生裂缝等。
严重 ( $S_4$ )	土坝发生滑坡或滑裂; 坝坡渗水; 坝基渗漏量明显增大; 冒水喷砂; 库水位下降; 坝体纵横向裂缝在 10—20 条以上, 缝宽 5—10cm 以上, 缝长几十至百余米; 输水管及管周围严重渗水; 启闭塔塔身断裂倾斜, 影响闸门启闭等。

#### 四、土坝地震危害性初评例

为说明起见, 现举一例。根据地震危险性分析结果, 该坝址地震烈度的超越概率分布示于表 4。

各级地震烈度的年发生率 $v_i$ 按式(8)计算

表 4 举例坝址的地震烈度超越概率分布  
Tab. 4 Intensity exceedance probability distribution of an example dam

P	0.9	0.632	0.5	0.3	0.2	0.1	0.07	0.05	0.03	0.02	0.01
I	5.6	6.4	6.6	6.9	7.1	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	8.0

$$v_i = - \frac{\ln(1-p)}{T} \quad (8)$$

根据表 4 的结果不难算出该坝址各级地震烈度的年发生率:  $v_8=0.024079$ ;  $v_7=0.005754$ ;  $v_6=0.000201$ 。

把表 2 的震害概率矩阵 $P[S_i/I]$ 与各级地震烈度的年发生率 $v_i$ 一起代入式(1)、(2), 用表格的形式给出该坝的地震危害性初评结果见表 5。

根据我国现行规范以及国际上在评价地震基本烈度时均以超越概率 $p$ 取为 0.1 作为临界值, 因此土坝地震危害性评价时也以震害等级 $S_i$ 的超越概率 $p[S_i]=0.1$ 为标准。另外, 根

据表3的各震害等级的震害描述可知,轻于“较重”时,土坝没有产生实质性的破坏,而重于“较重”特别是“严重”时土坝发生难以修复的震害。因此,我们决定:当 $p(S_i)$ 取为0.1时,若震害等级轻于“较重”时不需详评;重于“较重”时需详评。

从表5不难看出,举例土坝的地震危害性介于“较重”与“严重”之间,因此初评结果认为该坝地震危害性较高,应进行详评。

## 五、结 语

表5 举例土坝的地震危害性初评

Tab. 5 Preliminary assessment of seismic risk for an example dam

	地 震 烈 度			$v_{si}$	$v_{s \geq i}$	$P(S_i)$
	6	7	8			
$v_I$	0.0243079	0.005754	0.000201			
$v_I - v_{I+1}$	0.018325	0.005553	0.000201			
$v_{s_1}$	$1.0683 \times 10^{-2}$	$1.038 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-5}$	$1.1735 \times 10^{-2}$	$2.4095 \times 10^{-2}$	0.700
$v_{s_2}$	$6.102 \times 10^{-3}$	$2.715 \times 10^{-3}$	$7.9 \times 10^{-5}$	$8.896 \times 10^{-3}$	$1.236 \times 10^{-2}$	0.461
$v_{s_3}$	$1.136 \times 10^{-3}$	$1.172 \times 10^{-3}$	$3.6 \times 10^{-5}$	$2.344 \times 10^{-3}$	$3.464 \times 10^{-3}$	0.159
$v_{s_4}$	$4.21 \times 10^{-4}$	$6.27 \times 10^{-4}$	$7.2 \times 10^{-5}$	$1.12 \times 10^{-3}$	$1.12 \times 10^{-3}$	0.054

根据初评结果,广东省现有的274座大中型水库(图1)的土坝,有241座的地震危害性轻于“较重”,33座重于“较重”,后者应进行详评。但应该指出,因为是初评,并认为土坝的地震易损性(即其抗震能力)主要与施工质量有关,因此只能把表示土坝易损性的震害概率矩阵 $p(S_i/I)$ 看作是平均意义上的估计,所以对那些通过了初评的土坝若认为其施工质量较差,以及水中填土施工的土坝、坝基为软土的土坝(一般会加重震害),也需考虑详评。

## 参 考 文 献

- [1] 胡聿贤著,地震工程学,地震出版社,1989。
- [2] 刘恢先主编,唐山大地震震害,地震出版社,1986。
- [3] 中国科学院工程力学研究所编,海城地震震害,地震出版社,1978。
- [4] Scawthorn C (Editor) Techniques for rapid assessment of seismic vulnerability, ASCE, 1986。

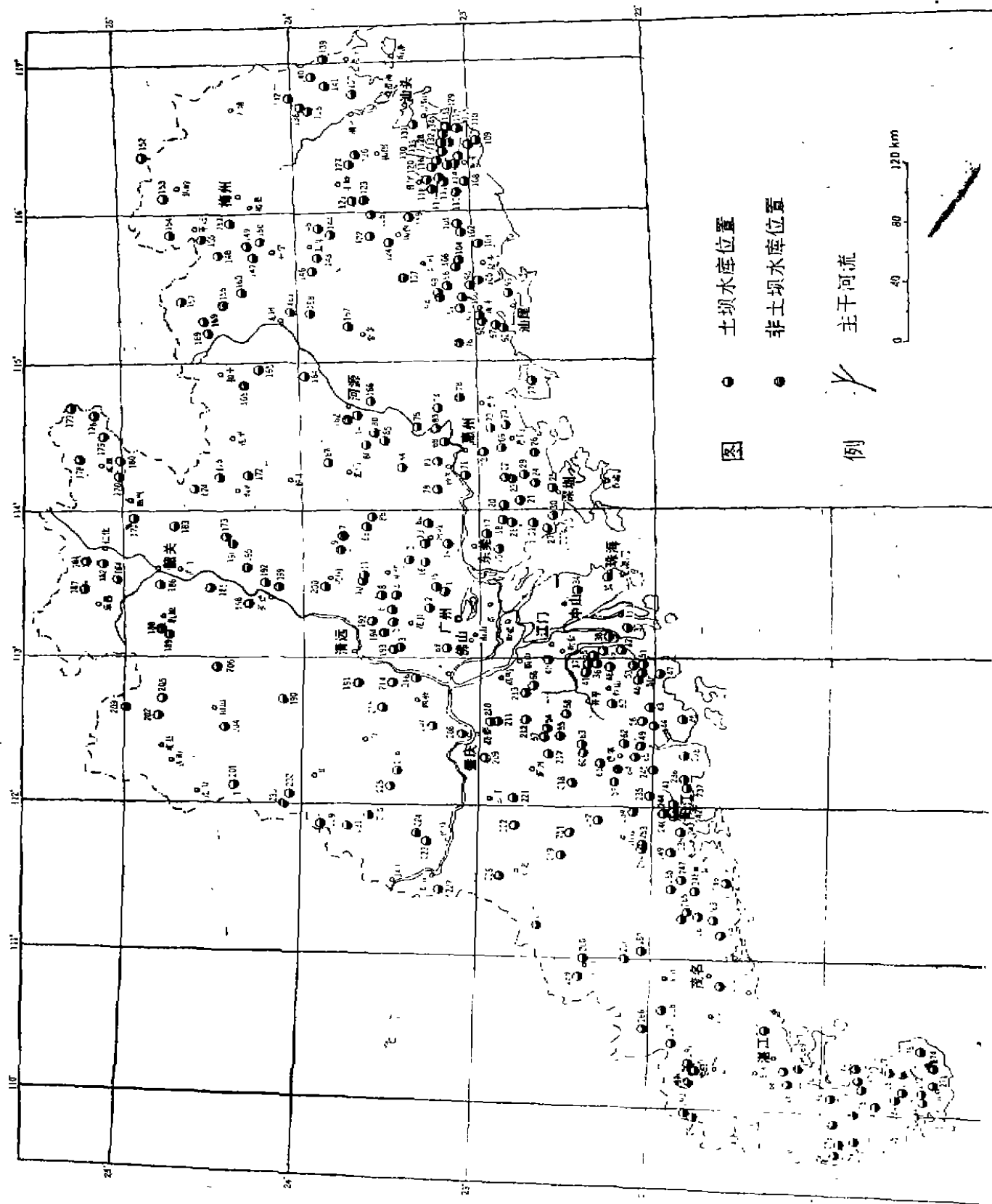


图1 广东省大中型水库分布图

# THE PRELIMINARY ASSESSMENT OF SEISMIC RISK AT RESERVOIR DAMS IN GUANGDONG PROVINCE

Chang Baoqi, Chen Renfa and Wu Peng

( Seismological Bureau of Guangdong Province )

[Abstract] Reservoir is one of the engineerings which may produce the second disaster from serious earthquakes. There are more than 300 middle and large reservoirs in Guangdong Province, China, of which many reservoirs were built in more than several ten years and during the building of reservoirs, earthquake effect was not considered fully. For the sake of responding the call of "International Decade of Natural Disaster Reduction", it is necessary to analyse the seismic risk of reservoir dams on wide in range and large in number. As the task is very huge, two methods of assessment are put in this paper. The first one is the preliminary assessment, the second one is the detail assessment which is based on the first one and it is thought of high seismic risk. Here with the method, the result of preliminary assessment are introduced.

[Key words] Earthquake risk; Earthquake hazard; Earth dam;