

# 浅谈工程地质与抗震设计

史国安

**摘 要** 文中叙述了以通海地震区为主的民房震害分析,并对桥梁结构类型、地基土类型、不同基础类型、土层厚度、地下水深度、地质构造等因素对震害的影响。

**关键词** 震害指数 液化深度 震害分析

## 1 通海地区地震简况

1.1 昆明西南通海地区,于1970年1月5日子夜,发生了里氏7.8级地震。震中地震强度等于或大于0.4g(烈度为8度)。震中为沿曲江两岸从峨山、小街、大海沿、水车田、高大、曲溪与者冲村成北西向长达50公里极震区(震中区)。以高大村震害最重,民房几乎全部倒塌,梁桥落梁,拱桥坍塌或拱部严重开裂变形。调查显示:凡地下位较浅、土层较松软且厚、在陡坡处和断层带上的建筑物震害都较重。极震区普遍产生地裂缝群。地裂缝不受地形限制,沿北西和南东向延伸,裂缝宽者可达1米以上。地裂缝的可见深度甚至数米。在高大村一带地震裂缝群范围横向可达100余米。

### 1.2 通海地震区地质概况

在峨山、小街、一带见有昆阳群板岩、灰岩和绿汁江组白云质灰岩和落雪灰岩。岩石破碎,部分呈角砾状。在高大村至曲溪者冲一带见有震旦系灯影灰岩,澄江砂岩和石炭系灰岩等。在曲溪者冲偶见有寒武系黄紫色砂岩。古老岩层上部与白垩系和第三系新地层呈不整合接触。

### 1.3 通海地震区地质构造概况

在通海地区的新老岩层中都遗留有多次历史断层痕迹。地震区邻近南北向小江深大断裂和北西向红河深大断裂相复合部位。该区断层活动受上述两个深大断裂影响和控制。沿曲江北西76度方向西起峨山,东至曲溪者冲全长约50公里范围,为一个开阔的断层谷,被称之为曲江断裂带。本次地震新断层就是由老断层而复活的。主压应力来自近南北方向,从而形成右旋式压扭性断层。

## 2 有关评定震害的标准和依据

震害级别评定标准表

表1

| 震害   | $\bar{i}$ | 破坏特征                                                                                                                                                                                 | 修补情况  |
|------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 完好   | 0         | 完好或侧翼端墙灰缝的一些开裂。民房完好,无损。                                                                                                                                                              | 不修    |
| 轻微破坏 | 0.25      | 上述各项砌体局部或其与别部砌体相接部位有一些裂缝混凝土或钢筋混凝土的墩身、台身、前墙有一些开裂。涵身边墙砌体灰缝有些开裂。拱圈砌体局部有些开裂。护拱局部有些裂缝。钢筋混凝土梁端有些开裂或外表有些剥落。民房墙体少数有细裂缝。                                                                      | 局部勾缝  |
| 中等破坏 | 0.5       | 桥的侧翼端墙,锥体等砌体严重裂缝。一些料石断裂。台前墙有些局部裂缝。墩台轻微下沉或倾斜。涵身边墙出入口附近裂缝严重或通裂。拱桥拱圈砌体有些裂缝或局部通裂。主拱肋有些局部裂缝。腹拱严重裂缝或通裂,梁与平板支坐间明显位移,一些石板梁折断。民房墙体裂缝较多,局部通裂,局部落瓦。                                             | 要局部补强 |
| 严重破坏 | 0.75      | 侧翼端正墙锥体砌体显著酥裂或错动或许多料石断裂或局部散塌。墩身台身前墙通裂、折断或错开。墩身台身显著下沉或倾斜开滑移,涵身内部边墙严重通裂或墙身倾斜鼓肚。拱桥许多拱石错动、断裂。拱圈明显变形或严重破裂,腹拱拱圈多处折断酥裂,主拱肋、主拱脚错断梁端支座剪断梁身明显位移,梁端捶裂,涵身盖板有一些折断。民房墙体严重开裂,通缝较多。上部山墙倒塌。层架歪斜,多处落瓦。 | 大修    |
| 毁坏   | 1.0       | 墩台倾伏倒塌,涵身边墙倾到,落梁,主拱倒塌。许多盖板断塌,民房墙体倒塌,屋架倾倒,或严重歪斜或折断。                                                                                                                                   | 重建    |

2.1 根据500多座桥涵和500多个自然村民房震害调查资料写成本文。文中地震强度(原地震

烈度), 采用国家地震动峰值加速度  $g$  表示 (以下简称加速度或  $g$ )。

2.2 地基土分类: 采用国家建筑抗震设计规范规定的四类土标准, 即 I 类为坚硬土或岩石, II 类为中硬土, III 类为中软土, IV 类为软弱土。

2.3 个体单一震害指数 ( $\bar{i}$ ) 的评定标准分五级详见表 1。群体综合震害等级标准采用加权平均 ( $\bar{i}$ )。

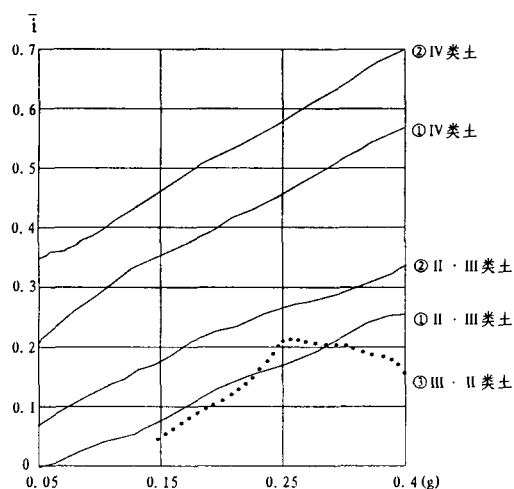
$$\bar{i} = \frac{i_1 N_1 + i_2 N_2 + \dots + i_n N_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$$

式中:  $N$  为桥涵座数、房屋幢数。  $i$  为单一震害指数。

### 3 桥涵、房屋结构类型与震害

#### 3.1 桥涵的震害情况

在相同条件下, 一般拱桥震害要重一些。盖板箱涵则除了在地震动峰值强度 0.25g (8 度) 地区外, 都比梁桥轻一些。详见图 1。从图 1 中可看出: 梁桥在 IV 类地基土上, 地震加速度 = 0.4g (9 度) 地区, 平均震害指数  $\bar{i} = 0.57$ , 接近中等破坏。但拱桥在 IV 类地基, 0.4g 地区  $\bar{i} = 0.73$ , 已接近严重破坏, 因拱桥结构比梁桥复杂, 材料也不同。详见图 1。



①梁桥②拱桥③盖板箱涵

图 1 桥涵震害比较

#### 3.2 民房的震害情况

民房的标准为: 土坯墙、木屋架、瓦顶、二楼。在相同条件下, 民房比桥涵震害要重一些。

因材料与结构均不同。详见图 2。从图 2 中可看出: 建在 II、III 类地基土上的民房在 0.25g 地区  $\bar{i} = 0.4$ , 已接近中等破坏。而相同地基土上的梁桥  $\bar{i} = 0.16$ , 刚接近轻微破坏。

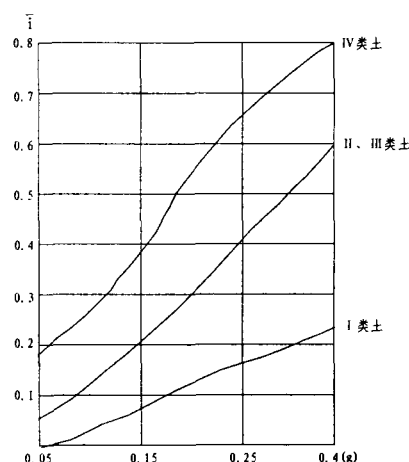


图 2 民房震害与地基土类型

### 4 不同地基土类型与震害

#### 4.1 桥涵

桥涵地基土的类型不同, 对桥涵的震害表现也有别, 详见图 1。如建在 II、III 类地基土上的梁桥在地震加速度 = 0.4g 地区, 其  $\bar{i} = 0.25$ , 系轻微破坏。但如果建在 IV 类地基土上, 则  $\bar{i} = 0.56$ , 已超过中等破坏。在 II、III 类地基上的拱桥, 在 0.25g 地区,  $\bar{i} = 0.25$ 。属于轻微破坏。如果建在 IV 类地基上, 则  $\bar{i} = 0.6$ , 已接近严重破坏。说明地基土对桥梁震害的影响是很大的。

#### 4.2 民房

地基土对民房的震害影响也很大。建在 I 类土基岩上的民房在 0.4g 地区,  $\bar{i} = 0.22$ , 未到轻微破坏程度。如果建在 IV 类地基土上, 0.4g 区  $\bar{i} = 0.8$ , 已达到超严重破坏。详见图 2。I 类为岩石, IV 类土为软弱土。

### 5 基础类型影响

文中桥梁基础类型分为(1)人工深基础, 即大于 5 米的桩和沉井基础。(2)天然浅基, 即明挖基础和部分小于 5 米的桩和短沉井基础。以上两种基础类型在 II、III 类地基中震害差别不大。但在

IV类地基土中,震害差就很大。例如9度地区,人工深基 $\bar{i}=0.45$ ,还不到中等破坏。但天然浅基 $\bar{i}=0.8$ ,属于严重破坏或毁坏之间。在9度地区,如果人工深基做得合适,可使震害减到轻微破坏程度。详见图3。

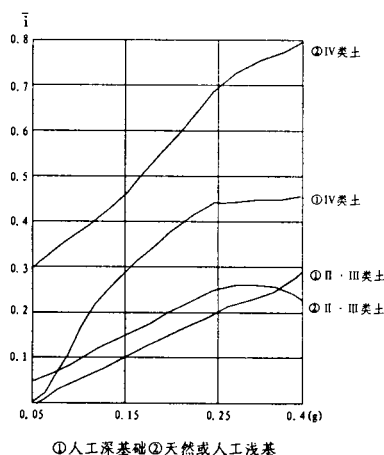


图3 桥梁震害与基础类型

## 6 覆盖土厚度与震害

6.1 根据近三百多个自然村民房震害调查配合钻探表明覆盖土层的厚度对建筑物的震害影响很大。在10个散点图中选出两个代表性散点图,如图4(a、b)。图中的II·III/I即上边为II、III类土,下边为I类土。在图4(b)中:当土厚度 $h=0$ 时, $\bar{i}$ 值为I类土的 $\bar{i}$ 值。当土厚度逐渐增加,则震害逐渐加重。变化很有规律性,说明土层厚度小于10米时为基岩与土层的混合地震效应;当土厚大于10米时为土层的单一地震效应,并伴有应力集中和地基失效。故土层越厚震害越大(0~10米)。

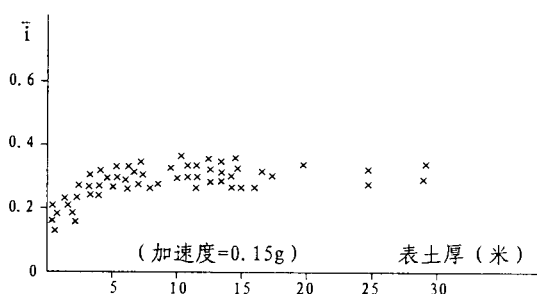


图4(a) 民房震害与土的厚度散点图

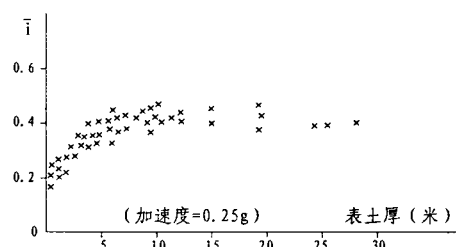


图4(b) 民房震害与土的厚度散点图

6.2 土层厚度 $h$ 与震害有线性关系。根据10个散点图分析土层由薄到厚,土层越薄震害越轻。土层越厚震害越重。当土厚到一定程度便出现拐点,如果土层继续加厚,震害不变,等于常数。我们把此拐点的相应厚度叫震害影响厚度 $H_0$ 。 $H_0$ 与地震加速度 $g$ 有线性关系,它们之间成比例增长。表2(1)就是根据10个散点图综合分析归纳的结果。

基本地震加速度 $g$ 与土层震害影响厚度 $H_0$ 、 $H_n$  表2

| 土类型                          | 厚度<br>加速度<br>$g$ | 加速度  |      |      |              |            | 自然<br>村数 |
|------------------------------|------------------|------|------|------|--------------|------------|----------|
|                              |                  | 0.05 | 0.15 | 0.25 | 0.25~<br>0.4 | $\geq 0.4$ |          |
| (1) $\frac{II \cdot III}{I}$ | $H_0$ (米)        | 10   | 12   | /    | 15           | 16         | 288      |
| (2) $III \cdot IV$           | $H_n$ (米)        | /    | 10   | 12   | 15           | /          | 254      |

## 7 地下水埋藏深度与震害

7.1 根据两百五十多个自然村民房震害调查并配合钻探资料表明:地下水位越浅、震害越重,地下水位越深、震害越轻。在有关5个散点图中,选出两个代表性散点图即图5(a、b),说明地下水对震害的影响。水能软化地基土,降低抗剪强度。故水位越浅震害越重,反之震害越轻。当水位超过10~15米时上覆土层,已不受地下水影响。(上覆土层为III、IV类黏质土)。

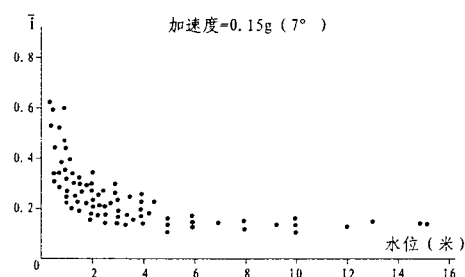


图5(a) 民房震害与地下水位(深度)散点图  
(III、IV类)黏性土

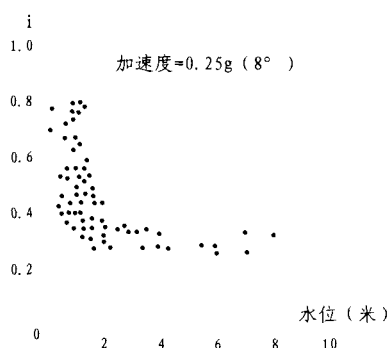


图 5 (b) 民房震害与地下水位 (深度) 散点图

(Ⅲ、Ⅳ类) 黏性土

7.2 根据 254 个自然村震害调查并配合钻探资料分析结果, 用 5 个散点图说明: 地下水的埋深与震害有良好的线性关系。地下水位越深, 震害越轻。当地下水位深到一定程度便出现拐点, 如果水位继续加深, 震害等于一个不变常数, 我们把此拐点的相应厚度 (水位深) 叫做震害影响厚度  $H_v$ 。  $H_v$  与  $g$  也有线性关系, 也是互相成正比例增长, 详见表 2(2)。从表 2(2) 中可知:  $H_v$  的最大值为 15m。并从表 2(2) 中和表 2(1) 中得到了来自两个不同角度的相互印证, 证明影响厚度的一致性。虽然表 2 中土的类型不同, 但  $H_0$  与  $H_v$  值很接近。目前国内外现行抗震规范对液化深度仍有争议, 尚无明确定论, 原因是尚缺乏有说服力的深层液化震害资料, 只能靠推算, 或者用标准贯入法的临界值判别砂土液化。目前比较公认的可液化深度为: 在 0.15g 地区, 液化深度小于 13m。在 0.3g 地区, 液化深度为 12~15m。本人认为: 在 0.3~0.4g 地区液化深度一般不会超出 15m 范围。

## 8 地质构造与地震震害的关系

在活动断层带上的建筑物震害都重。通海地震高大乡在活动地震断层上, 全村民房几乎全倒

塌。余家河坎在断层带上震后全村向曲江方向推移约两百米 (向东)。通海县城虽距震中较远, 但震害严重, 原因为有两个断层在城区相交。石屏城北郊距城不足两公里, 地震动峰值强度为 0.05g 区但石屏火车站米轨钢轨被扭曲, 附近民房倒塌。原因是与地震断层有牵连的两条新断层在此相交。详见图 6。

以上说明断层对震害影响很大。

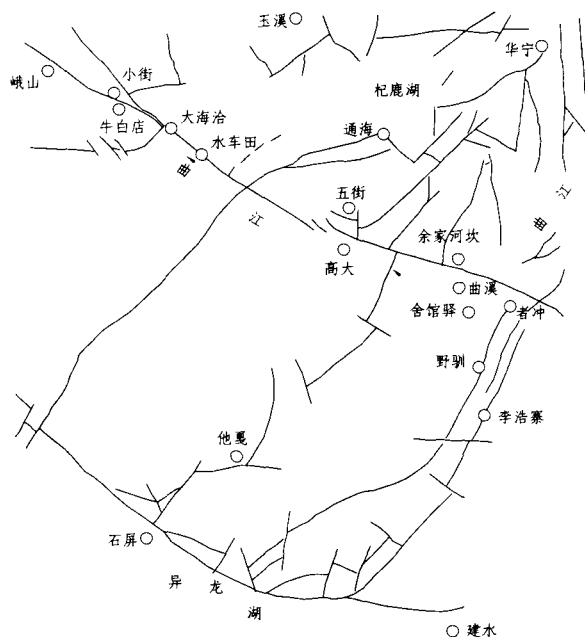


图 6 通海峨山地区地质构造略图

### 主要参考文献

- [1] 桥梁震害汇编——中国科学院工程力学所 77.5
- [2] 通海地震烈度与场地影响——通海地震场烈度调查组 73.5
- [3] 云南通海地区地城自然村震害地质情况简表——通海地震烈度调查组 72.10
- [4] 通海地区道路建筑物震害调查报告——铁道部铁路抗震规范编制组 75.3