

关于影响易损性分析结果的区域因素研究^{*}

——以福建为例

张铁军¹, 高慧瑛¹, 黄宏生²

(1. 中国海洋大学 工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 福建省地震局网络中心与应急指挥中心, 福建 福州 350003)

摘 要: 以福建省震害快速评估系统为依托, 以分析处理现场实际调查数据为基础, 提出了主要影响易损性分析结果的四个区域因素及其影响指数值、区域综合指数值, 提供了各分区的划分依据、各分区影响指数值的评定标准以及区域综合指数值的计算方法, 为合理应用不同地区之间的易损性矩阵或易损性曲线提供了参考依据。

关键词: 易损性; 综合指数值; 区域影响指数值; 区域影响因素; 震害快速评估; 福建

中图分类号: P315.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2011)03-0073-05

易损性分析结果(易损性矩阵或易损性曲线)反映的是某一类建筑物在不同烈度、5种破坏等级下的破坏比例, 即易损性是一个地区建筑物抗震性能的标志。不同类型、不同单元的各类建筑物易损性分析结果的差异, 反映了工作区内不同类型、不同地点的建筑抗震能力的差别。它不仅是城镇改造规划和房屋抗震加固的依据, 同时是评估地震损失(人员伤亡、经济损失以及救灾物资和人力需求)的基础。因此, 综合全面地考虑影响易损性的各种因素, 合理地建立易损性矩阵或易损性曲线对震后灾情快速评估起着至关重要的作用。

在地震灾害“快速评估”过程中, 由于评估工作需要在地震之后极短时间内进行, 因此使用的结果并非基于地震后现场调查得出的易损性分析结果, 而是通过该地区或其他地区历史地震的灾情数据得出经验易损性分析结果, 结合地域特征, 推算出待评估地区现阶段的易损性分析结果。由于地质条件、建筑物结构类型比例、采取抗震措施特点等相关因素的变化, 断裂带分布、地理地形、经济发展以及设防标准等因素的差别, 因此, 采用经验易损性分析结果进行震害快速评估, 其结果误差较大, 使用某个地区的易损性分析结果需要考虑区域因素的影响。

本文详细阐述了影响易损性的主要区域因素, 对其进行了分区: 位置条件分区、经济条件分区、建筑结构类型分区、抗震性能分区, 并综合上面

各种因素之间的相互联系, 提出了各分区影响指数值, 评估点综合指数值以及相应的确定方法。

1 区域影响因素与区域影响指数值

区域影响因素包括影响区域抗震性能的建筑结构类型、建筑习惯, 采取抗震措施的特点和建筑物的结构布置, 影响区域位置条件的地形条件和交通状况, 以及区域经济条件和区域设防烈度等主要因素。因此, 区域影响指数值包括抗震性能指数值 a_1 、位置条件指数值 a_2 、经济条件指数值 a_3 及设防标准指数值 a_4 。

1.1 抗震性能指数值 a_1 与抗震性能分区

抗震性能指数值 a_1 直接反映了一个地区建筑物的总体抗震能力, 同时, 它是该地区建筑物总体消耗地震能量的一个重要指标。因此, 一个地区的抗震性能是直接影响该地区易损性分析结果的主要因素。

1.1.1 建筑结构类型分区

在分析一个地区抗震性能指数值 a_1 之前, 首先要对该地区的建筑物整体的抗震性能进行分区。2010年玉树地震震后现场调查发现, 土木结构房屋几乎全部倒塌。这说明, 一个地区总体的抗震性能不仅与该地区采取抗震措施的特点有关, 建筑物各种结构类型的比例也是其重要的影响因素,

^{*} 收稿日期: 2010-12-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(50978240)

作者简介: 张铁军(1985-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 硕士研究生, 主要从事防灾减灾研究. E-mail: zhangtiejun-699@163.com

通讯作者: 高慧瑛(1967-), 女, 山东青岛人, 硕士生导师, 教授, 主要从事城市防灾减灾、城市管理与管理信息系统研究。

E-mail: fqmghy@sina.com

建筑结构类型分区是抗震性能分区的前提。

由于钢筋混凝土结构、砖混结构、砖木结构、土木结构以及石砌结构等几种结构类型之间(除特殊结构建筑物,如福建土楼)抗震性能存在较大差距,而且,现阶段,土木结构、石砌结构甚至砖木结构只在地域特征非常明显或经济落后的地区才被采用,在所有结构类型中并非占主要位置。所以,在进行建筑结构类型分区^[1]时,不仅需要考虑上述5种结构类型,同时需要兼顾部分建筑结构类型的比例,制定合理的划分规则。例如,在对福建省各乡镇进行建筑结构类型分区时,石砌结构、土木结构分布区域较明显,二者虽然在整个乡镇中占较小比例,但会影响该地区的易损性分析结果,对人员伤亡和经济损失评估结果会产生较大影响。因此,将砖木结构、石砌结构和砖混结构统称为砖石结构,同时限定土木结构和砖石结构的比例,综合考虑进行分区。所以,在建筑结构分区时,必须注意建筑结构类型在整个地区中的影响,因地制宜,合理制定划分原则。下述为以福建省各乡镇建筑物结构类型分区为例的划分原则。

一区:钢筋混凝土结构(钢混)和砖混结构(砖混)占绝大多数。其中,钢混 $\geq 50\%$,砖混 $30\% \sim 50\%$;

二区:砖混和钢混结构占绝大多数。其中,砖混 $\geq 60\%$,钢混占 $20\% \sim 40\%$;

三区:砖混、砖石结构、砖木各占相当比例。其中,砖混 $30\% \sim 50\%$,砖木、石砌结构之和占 $40\% \sim 60\%$;

四区:以土木结构为主,砖石结构占一定比例。其中土木 $\geq 50\%$ 。

1.1.2 抗震性能分区

抗震性能分区需要逐个考虑影响建筑物抗震性能的因素,并不断修正考虑每个因素后的划分结果,直到将所有因素全部考虑为止。例如福建省各乡镇抗震性能分区,首先依据建筑结构类型分区,给出一个初步抗震性能分区结果。由于各建筑结构类型比例并非抗震性能的决定因素,还有诸如采取抗震措施的特点、建筑习惯、建筑材料等因素。因此,在考虑了抗震措施特点后修正上一步骤中得出的结果。其具体的评判规则如下:

评价一个单元(区、乡、镇)建筑物抗震性能的优劣时,通过了如下4个步骤的判别,给出好、较好、一般、较差、差等5个等级。

(1)首先考虑建筑类型,按照建筑类型分区的

结果,一区:好;二区:一般;三区、四区:差。

(2)在分区的结果基础上,按下列原则修改:

框架 $\geq 50\%$,且砖混结构抗震一般的,好;

框架介于 $20\% \sim 50\%$,且砖混抗震一般的,较好;

框架 $\leq 20\%$,且砖混抗震一般的,一般;

土木介于 $20\% \sim 50\%$,砖混介于 $50\% \sim 80\%$,至少采取一个抗震措施,较差。

(3)在上述修正的基础上,如果出现下列情况之一的,再各降一级:

①砖混没有任何构造措施;

②砖混承重墙开洞较大;

③有圈梁,但洞口处断开,且没有下错接;

④承重墙太薄;

⑤处于偏远地区。

(4)在完成上述步骤的基础上按照现场调查资料的标注和相片进行修正。

1.2 位置条件指数值 a_2 与位置条件分区

地震灾害^[2-3]的定义如下:与地震有关的最主要和易蔓延的灾害是由地面震动引起的结构物破坏,以及出现一些物理现象(海啸、海啸、液化和滑坡)从而造成的严重破坏和损失。这说明不同区域潜在地震地质灾害,如断裂、滑坡、崩塌、泥石流等次生灾害也是一种地震灾害,会影响易损性分析结果。1964年新泻地震的大范围砂土液化,导致许多公寓地基强度丧失,建筑物倾斜达 70° 。1964年阿拉斯加地震,滑坡造成了许多住房和建筑物的完全破坏或损坏。2010年甘肃舟曲县特大泥石流,尽管并非由地震引发,但再一次证明地形条件是影响易损性特征的一个重要因素。

2010年7月28日,兰州晨报刊登的文章“唐山大地震救援:我们直面灾难的36天”^[4],讲述者李启庚提到:唐山灾区的交通状况极差,铁路公路都断了,飞机是最快的方式,但唐山机场的损坏也非常严重,必须从首都机场转机。而全国各地刚来的救援队伍都云集在此处。2010年8月6日,海门日报刊登的文章“亲历唐山大地震救援”^[5],讲述者王步龙提到锦西、唐山和秦皇岛震后先后到达三地需要的时间远大于震前所需要的时间,使得救援工作不能及时展开。同样2010年玉树7.1级地震,由于玉树属于高海拔地区,距离省会西宁有800 km且交通不便,救援遇到了极大困难。从历史地震灾害中可以得出,地理位置、交通条件在一定程度上影响了一个地区建筑物的破坏情况和人员的伤亡情况。因此,分析一个地区的易损性,需要综合考虑这两个因素。

位置条件指数值一方面反映了不同地区潜在地质灾害的可能性大小, 另一方面反映了交通条件的便利与否。至于这两个指标权重的大小, 需视具体情况而定。例如, 福建省漳州市的东山县, 虽然地势比较平坦, 但是其与漳州市仅有桥相连, 而且与海相邻, 自然其指数值就可能低一些。

在进行一个地区位置条件指数值确定之前, 需要根据该地区的实际情况, 进行位置条件划分, 即位置条件分区是确定位置条件指数值的前提。具体划分原则依据上述两个影响因素和地区的具体情况制定。例如, 在福建省震害快速评估系统中, 经过现场抽样调查, 以福建省乡镇为单位, 位置条件分区的划分原则如下。

位置条件分区总体划分为三个等级: 好、一般、差。主要划分依据分别是: 地形条件、交通便利程度、调查印象和相片。具体评判步骤通过以下四步:

(1) 首先根据地形图, 依据等高线的密集程度、等高线数值以及等高线的差额给出初步印象,

① 初步印象分为较好、一般、较差三个档次, 其中等高线密集, 等高线数值较大, 几条等高线交在一起以及与周围差额较大的地区为较差; 等高线比较疏散, 等高线数值较小, 与周围等高线差额不大(不超过 100)的地区为一般, 等高线 ≤ 100 m 的地区可评为较好。

② 特殊情况: 由于沿海乡镇属于河、海冲积平原地区, 因此评为较好。

(2) 依据交通便利与否在上一步骤的基础上进行第一次修正, 交通便利的地区在上述等级中适当提高一个档次; 交通条件一般的地区, 档次不变; 对于交通条件较差的地区, 上述等级降低一个档次。其中, 交通便利与否, 按照下面的情况而定:

① 便利: 附近地区有国道通过, 同时兼有省道或者铁路通过的地区按交通便利评定。如果没有国道, 但是有多条省道通过或者有很多乡镇道路通过即处于交通要塞, 按交通便利评定。

② 一般: 附近无国道通过, 仅有一条或者两条省道通过的地区, 评为一般。

③ 较差: 无省道通过, 仅有两到三条乡镇道路甚至无乡镇道路通过的地区通过评为较差。

④ 特殊情况: 对于一些岛, 如厦门岛和东山县、平潭县, 由于与陆地仅仅有桥相连, 因此评为较差。

(3) 根据调查印象和实际照片对上一步得出的

结果进行修正。

(4) 综合上面各个因素, 进行最后修正。例如: 对于沿海部分乡镇虽然不是很好, 但是地形很好, 乡镇道路很多, 这样的地区整体评为好; 对于岛, 尽管地势平坦, 但是处于地理位置特殊, 评为差。其他地区按照上面原则进行评定。

1.3 经济条件指数值 a_3 与经济条件分区

经济条件指数值 a_3 直接反映了一个地区的经济富裕程度, 从而也间接反映了对抗震设防的重视与投入, 影响结构物的易损性特征。青海玉树限于当地经济发展水平, 房屋结构类型以土木结构、砖木结构为主, 抗震能力差, 因此, 在玉树 7.1 级地震中损坏比较严重。

同理, 经济条件分区是确定经济条件指数值 a_3 的前提。经济条件划分需要依据该地区总 GDP 和人均 GDP 两个指标。由于人均 GDP 与人口密度相关, 一个地区总 GDP 较低, 如果其人口密度也很低, 则其人均 GDP 就有可能很高; 同理, 某个地区总 GDP 很高, 由于人口密度很大, 人均 GDP 就可能很低。因此, 为真实反映某个地区的经济实力, 需要综合上述两个指标合理制定划分原则, 单独依靠一个指标会造成评估结果失真。而且, 在制定划分原则之前, 需了解现阶段国家人均 GDP 即相关省(自治区)人均 GDP 的分布。

1.4 设防标准指数值 a_4 与设防标准分区

设防影响指数值 a_4 反映了设防、不设防, 或者设防标准值的差异。设防的不同直接影响一个地区的易损性分析结果。同理, 设防标准分区仍然是确定设防标准值 a_4 的前提。设防标准的划分原则依据《建筑抗震设计规范》^[6] 上对我国主要城镇抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组制定。

1.5 单元综合指数值 a

经上述四个区域分区之后, 每个待评估单元在每个分区中都有一个确定的位置。要综合反映该地区的四个系数对易损性特征的影响强弱, 就需要合理确定四个区域影响指数值。

根据上述分析, 在四个区域因素中, 对一个地区易损性特征影响, 由强到弱的顺序依次为: 抗震性能 \rightarrow 位置条件 \rightarrow 经济条件 \rightarrow 设防标准。因此, 在确定分区影响值时, 需要注意各分区的权重, 即其区域指数值的最大值、最小值与具体分布。

待确定每一个点在区域影响指数值 a_i 后, 单

元综合指数值 a 可按照下面的公式进行计算:

单元综合指数值 $a = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$ 。

由上式可以得出区域综合指数值 a 的最大值和最小值,即得到关于区域综合指数值 a 的一个区间。从《汶川地震区砖砌体房屋易损性研究》中易损性曲线图中可看出,带状包络图体现了该类建筑物在某地震强度作用下破坏情况的差异,因此将单元综合指数值所处的区间按照需要合理等分为几个小区间,分别按照由高到低的顺序依次划分为相应个数等级。同时,为了在易损性分析结果中合理考虑区域影响因素,将易损性分析结果中每一烈度下建筑物的破坏情况划分为相同个数等级,与单元综合指数值所具有的等级相对应。由此,在进行某地区各项震害评估之前,借助单元综合指数值调整易损性分析结果来考虑区域因素的影响,在进行震害快速预测时,达到并非直接使用通过分析历史地震震害数据得出的易损性分析结果的目的。

2 工程实例应用

通过上述分析,关于影响易损性分析结果的区域影响因素和其相应区域影响指数值以及单元综合指数值的方法都已经确定。各因素划分在某个地区震害快速预测中大体分为以下几个步骤:

(1)收集数据。通过实地考察,采集影响该地区易损性分析结果各类因素的相关数据。同时,联络该地区相关部门,获得所需的各类基础数据。然后将现场考察资料与已有数据汇总,整理形成该地区区域因素数据库。

(2)区域影响因素分区。按照本文中提到的区域因素分区方法合理分析得出上述数据库中的数据在每类影响因素中的属性。

(3)确定区域影响指数值。依据各区域影响因素对建筑物易损性的影响程度,分析各区域影响因素在所有因素中的权重,确定各影响因素指数值的分布。以福建省震害快速评估为例,根据多次历史大地震的震害总结和多年的研究成果和经验,该项目中各分区影响指数值的分布如表 1~表 4 所述。

表 1 抗震性能指数值 a_1					
抗震性能分区	好	较好	一般	较差	差
抗震性能指数值	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1

表 2 位置条件指数值 a_2			
位置条件分区	好	一般	差
位置条件指数值	0.5	0.3	0.1

表 3 经济条件指数值 a_3			
经济条件分区	好	一般	差
经济条件指数值	0.4	0.2	0.1

表 4 设防标准指数值 a_4			
设防标准分区	Ⅷ度	Ⅶ度	Ⅵ度
设防标准指数值	0.4	0.2	0.1

(4)确定单元综合指数值。依据单元各分区影响指数值的分布、待评估地区所具有的分区特点,计算单元综合指数值,并确定单元综合指数值的上限和下限。

(5)确定单元综合指数等级,调整易损性分析结果。按上文中叙述的方法将区域影响因素和易损性分析结果结合,求得现阶段本地区各种建筑结构类型的易损性分析结果。表 5~表 7 分别为福建省震害快速预测单元综合指数值分布、基于汶川地震震害数据得出的钢筋混凝土结构建筑物易损性矩阵、考虑区域因素影响的城区钢筋混凝土结构房屋分区易损性矩阵^[7]。

表 5 福建省震害快速预测单元综合指数值					
指数综合值	$0.3 \leq a < 0.56$	$0.56 \leq a < 0.82$	$0.82 \leq a < 1.08$	$1.08 \leq a < 1.34$	$1.34 \leq a < 1.6$
综合分区指数	差	较差	一般	较好	好

表 6 基于汶川地震震害数据的钢筋混凝土结构房屋易损性矩阵 %					
破坏状态	烈度				
	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	X
基本完好	81.4 ± 13	49.5 ± 9	20.4 ± 4	16.7 ± 1	3.1 ± 1
轻微破坏	15.5 ± 10	32.4 ± 11	30.8 ± 12	13.9 ± 4	3.9 ± 1
中等破坏	2.1 ± 2	15.3 ± 10	30.6 ± 10	14.7 ± 6	8.8 ± 2
严重破坏	1.0 ± 1	2.8 ± 1	16.6 ± 7	46.3 ± 7	44.4 ± 5
倒塌	0	0	1.6 ± 1	8.4 ± 4	39.8 ± 6

表 7 考虑区域因素影响的城区钢筋混凝土结构房屋分区 易损性矩阵							%
烈度	综合 指数	破坏状态					
		基本 完好	轻微 破坏	中等 破坏	严重 破坏	倒塌	
Ⅵ度	好	94.4	5.5	0.1	0	0	
	较好	87.9	10.5	1.1	0.5	0	
	一般	81.4	15.5	2.1	1	0	
	较差	74.9	20.5	3.1	1.5	0	
	差	68.4	25.5	4.1	2	0	

续表 7

烈度	综合指数	破坏状态				
		基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
Ⅶ度	好	53.5	39.4	5.3	1.8	0
	较好	51.5	35.9	10.3	2.3	0
	一般	49.5	32.4	15.3	2.8	0
	较差	47.5	28.9	20.3	3.3	0
	差	45.5	25.4	25.3	3.8	0
Ⅷ度	好	24.4	42.8	20.6	9.6	2.6
	较好	22.4	36.8	25.6	13.1	2.1
	一般	20.4	30.8	30.6	16.6	1.6
	较差	18.4	24.8	35.6	20.1	1.1
	差	16.4	18.8	40.6	23.6	0.6
Ⅸ度	好	17.7	17.9	20.7	39.3	4.4
	较好	17.2	15.9	17.7	42.8	6.4
	一般	16.7	13.9	14.7	46.3	8.4
	较差	16.2	11.9	11.7	49.8	10.4
	差	15.7	9.9	8.7	53.3	12.4
Ⅹ度	好	4.1	4.9	10.8	46.4	33.8
	较好	3.6	4.4	9.8	45.4	36.8
	一般	3.1	3.9	8.8	44.4	39.8
	较差	2.6	3.4	7.8	43.4	42.8
	差	2.1	2.9	6.8	42.4	45.8

在获得上述易损性分析结果之后, 经过整理, 可以得出现阶段该地区某类建筑物的易损性分析结果。表 8 为福建省福州市鼓楼区鼓西街道钢筋混凝土结构房屋的易损性矩阵, 该地区的单元综合分区指数等级是“较好”。

表 8 鼓西街道钢筋混凝土结构房屋易损性矩阵 %

烈度	破坏状态				
	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
Ⅵ度	87.9	10.5	1.1	0.5	0
Ⅶ度	51.5	35.9	10.3	2.3	0
Ⅷ度	22.4	36.8	25.6	13.1	2.1
Ⅸ度	17.2	15.9	17.7	42.8	6.4
Ⅹ度	3.6	4.4	9.8	45.4	36.8

3 结语

易损性分析结果是震害快速评估的基础, 是导致评估结果产生误差的主要因素。本文从多个角度提出了影响易损性的主要区域因素, 并综合分析各因素之间的相互关系, 提出了四个区域影响指数值, 为不同时期、不同地区之间易损性分析结果的应用提供了参考依据。不过, 全面、准确地考虑区域因素, 合理地制定各因素影响指数值的分布, 应当在未来震害评估工作以及现场实际调查中引起注重, 这将大力推动震害快速评估结果的准确性。

参考文献:

- [1] 冯启民. GB/T19428-2003《地震震害预测及其信息管理系统技术规范》宣贯教材[M]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [2] (美)地震工程委员会地震损失估计专家小组. 未来地震的损失估计方法[M]. 北京: 地震出版社, 1989.
- [3] 国家地震局震害防御司. 未来地震的损失估计方法[M]. 北京: 地震出版社, 1991.
- [4] 王文元. 唐山大地震救援: 我们直面灾难的 36 天[N]. 兰州晨报, 2010-07-28(B07).
- [5] 赵蓓莉. 亲历唐山地震救援[N]. 海门日报, 2010-08-06(B1).
- [6] 中华人民共和国建设部. GB50011-2001 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [7] 别冬梅, 冯启民, 张铁军. 基于区域特征分区的福建省砖混房屋易损性研究[J]. 灾害学, 2010, 25(S0): 254-257.

Study on Regional Factors That Influence the Results of Vulnerability Analysis —A Case Study in Fujian

Zhang Tiejun¹, Gao Huiying¹ and Huang Hongsheng²

(1. Engineering College, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Seismological Bureau of Fujian, Network-Centric and Emergency Direction Center, Fuzhou 350003, China)

Abstract: Based on the seismic damage rapid evaluation system in Fujian Province, analysis and processing of field survey data, four regional factors that infect the vulnerability analysis results most and their impacted index value as well as the local comprehensive impacted index value are pointed out, and the demarcation method for every regional factor, as well as the evaluation standard for each factor's index value and the method for calculating regional comprehensive exponential value are provided to be taken as the reference for reasonable application of different area's vulnerability matrix or curve.

Key words: vulnerability; comprehensive index value; regional impacted index value; regional impacted factors; rapid seismic damage evaluation; Fujian