维普资讯 http://www.cqvip.com

第27卷 第4期
2005年12月

西 北 地 震 学 报
NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL

Vol. 27 No. 4
Dec., 2005

城市防震减灾能力的定义及评估方法

谢礼立[1,2]

(1. 中国地震局工程力学研究所,黑龙江 哈尔滨 150080;
2. 哈尔滨工业大学土木工程学院,黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要:城市防震减灾能力是一个涉及因素众多的复杂体系,对它的评估也是涉及到地震科学、社会科学和经济科学的交叉学科问题。本文首先提出了城市防震减灾能力的概念,把人员伤亡、经济损失和震后恢复时间三方面作为衡量城市防震减灾能力的准则;围绕这三个准则归纳出影响城市防震减灾能力的六大因素,并用一些简单、可测量的指标来代表这六大因素,建立起城市防震减灾能力指标体系;然后再分别建立这些指标体系中的各种因素或其子因素与评价三准则中的人员伤亡、经济损失和恢复时间的联系;最后用灰色关联分析方法将三个评价准则综合成一个防震减灾能力指数。从而为城市防震减灾能力评估提供了一个较系统、完整的理论体系框架,可对城市的防震减灾能力进行定量的评价,指导城市防震减灾决策。

关键词: 城市防震减灾能力;评估; 人员伤亡; 经济损失; 震后恢复时间; 指标体系; 灰色关联分析; 防震减灾能力指数

中图分类号: P315.9 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-0844(2005)04-0296-09

An Method for Evaluating Cities´Ability of Reducing Earthquake Disasters

XIE Li-li[1,2]

(1. *Institute of Engineering Mechanics, CEA, Harbin* 150080, *China*;
2. *School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin* 150001, *China*)

Abstract: Cities´ability of reducing earthquake disasters is a complex system involving numerous factors. Moreover the research on evaluating cities´ability of reducing earthquake disasters relates to multi-subject, such as earthquake science, social science, economical science and so on. In this paper, firstly, the conception of cities´ability of reducing earthquake disasters is presented, and the ability could be evaluated by three basic elements: the possible seismic casualty, the economic loss during the future earthquakes and the time required for recovery after earthquake. Based upon these three basic elements, a framework, which consists of six main components, for evaluating city's ability of reducing earthquake disasters is proposed. Then, the statistical relations between the index system and the ratio of seismic casualty, the ratio of economic loss and recovery time are gained by utilizing the existing methods for assessing earthquake losses. At last, using the grey correlation method, the comprehensive index of cities´ability of reducing earthquake disasters is defined. Thus the relatively comprehensive theory frame is set up. The frame can be used to evaluate cities´ability of reducing earthquake disasters quantitatively, and the results will throw the light on the decision-making in reducing cities´earthquake disasters.

Key words: **Cities ability of reducing earthquake disasters; Evaluation; Seismic casualty; Economic loss; Recovery time after earthquake; Index system; Grey correlation; Comprehensive index of cities´ability of reducing earthquake disasters**

收稿日期:2005-07-25

作者简介:谢礼立(1938-),男(汉族),上海人,中国工程院院士,研究员,主要从事地震工程和防灾工程研究.

维普资讯 http://www.cqvip.com

0 前言

20世纪末联合国国际减灾十年委员会曾呼吁要对现有大中城市的防震减灾能力进行评估,但由于没有现成的有效方法而使呼吁成为泡影。1994年我国政府以国务院办公厅的名义曾发出通知,要在各级政府和全社会的共同努力下,争取用十年左右的时间,使我国大中城市和人口稠密、经济发达地区具备抗御6级左右地震的能力。2004年我国政府再次提出要在2020年使我国基本具备综合抗御6级左右,相当于各地区地震基本烈度的地震的能力,大中城市、经济发达地区的防震减灾能力力争达到中等发达国家的水平。这无疑又对全社会提出了如何评估城市防震减灾能力的要求。因此,城市防震减灾能力评价是当今社会对地震工程和地震科学提出的一个需要迫切解决的极具挑战性的课题。它不仅可以使城市灾害损失定量化评价成为可能,而且将为评价城市防震减灾能力提供客观的度量标准,从而指导城市进行有效的防震减灾决策。本文在充分利用目前关于防震减灾研究成果的基础上,结合经济学领域中的方法来建立城市的防震减灾能力评估模型。以下将从城市防震减灾能力的概念,指标体系的建立,由指标体系确定造成的人员伤亡、经济损失和震后恢复时间,城市防震减灾能力综合指数的确定四个方面来介绍城市防震减灾能力的评估模型。

1 城市防震减灾能力的概念和具体内容

1.1 城市防震减灾能力概念

所谓防震减灾能力是指一个城市确保其地震安全的能力。根据地震灾害对一个城市造成破坏和损失的特点,用以下三个方面来判断一个城市对地震的安全性:

(1) 一次地震中人员伤亡的数量;

(2) 一次地震中的经济损失的多少;

(3) 震后为了恢复社会正常的生产和生活秩序所必须的恢复时间长短。

一般来说地震是一种具有极大破坏力的灾象,但它发生的概率极小,因此不能片面追求高的防震减灾能力而不顾经济投入,两者之间应有一个适当的平衡。另一方面,一个城市即使有了足够的防震减灾能力,也不能保证地震时无人员伤亡,无任何经济损失,震后不需要任何恢复时间。防震减灾能力是指这三个要素能够被控制在一定的程度内,这个程度就是社会可接受水平。因此防震减灾能力的强弱是相对于社会可接受水平而言的。还应该强调的是,城市防震减灾能力的强弱也是相对于一个城市可能会遭遇到的地震烈度来说的。

1.2 指标体系的具体内容

围绕三个评价准则提出影响城市防震减灾能力的社会、经济、工程和非工程的具体内容,可概括为六大因素:地震危险性评价能力、地震监测预报能力、城市工程抗震能力、城市社会经济防灾能力、非工程减灾能力及震后应急和恢复能力.详细列出这六大因素的具体子因素,即发展了评价城市防震减灾能力的框架体系(图1)。并用一些简单、可测量的指标来代表这些因素和子因素,建立起指标体系的具体内容。

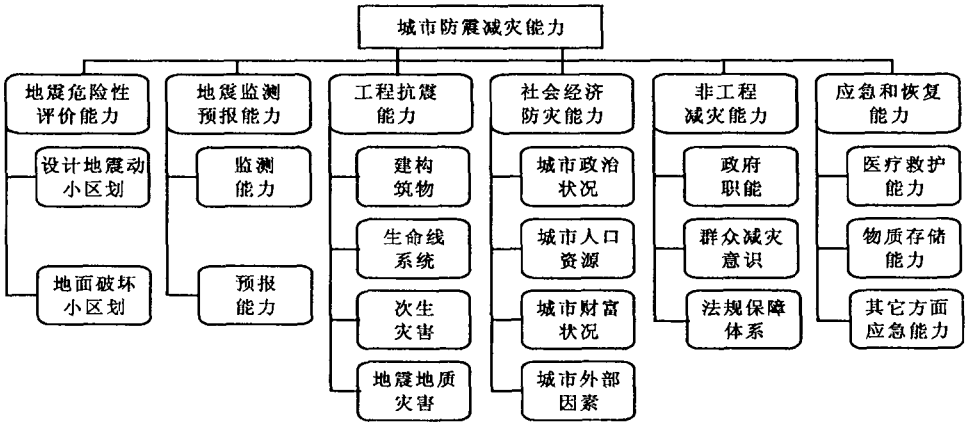

图1 城市防震减灾能力指标体系框架

Fig. 1 Framwork of indexes system for evaluating the ability of urban protecting against and mitigating earthquake disaster.

维普资讯 http://www.cqvip.com

在指标体系具体内容的建立过程中，利用层次分析法[1]求出了三个评价准则和六大系统的权数，并采取相应的方法确定了六大系统各分项内容的权数，具体的权值参见文献[2]。根据震害实例和经验制定了每个指标的评价标准，最后形成了整个城市防震减灾能力指标体系的具体内容。具体内容在此不一一列举。

2 由指标体系确定造成的人员伤亡、经济损失和震后恢复时间

根据指标体系来确定地震灾害损失的过程可概括为框图2。

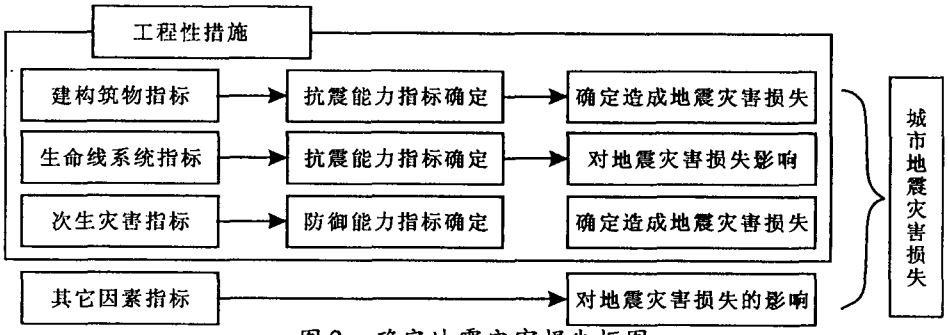

图2 确定地震灾害损失框图

Fig. 2 Block diagram of evaluating earthquake-caused economic loss.

2.1 工程性措施造成的地震灾害损失

2.1.1 建构筑物造成的地震灾害损失

2.1.1.1 确定抗震能力指数

城市建构筑物抗震能力主要与设防情况、建筑年代、建筑结构类型三个子因素有关。本文采用一定的方法将它们结合成一个建构筑物抗震能力指数。

根据谢礼立等[3]提出的各类设防结构按Ⅵ～Ⅸ度设防的建筑物在遭遇不同烈度地震时的破坏概率矩阵和本文定义的房屋的抗震能力指数，对应于建构筑物在地震作用下保持基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏，取其抗震能力指数为1、0.8、0.6、0.4和0.2，可以得到设防等级不同的建构筑物在不同烈度下的抗震能力指数：

$$IL1(J,I) = \boldsymbol{K} \times \boldsymbol{P}(D_i/J,I) \qquad (1)$$

式中：$IL1(J,I)$表明设防烈度为J（J = Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ、Ⅸ）的建构筑物遭遇I（I = Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ、Ⅸ、Ⅹ）烈度时的抗震能力指数；$\boldsymbol{K}$为抗震能力等级矩阵{1,0.8,0.6,0.4,0.2}；$\boldsymbol{P}(D_i/J,I)$表明设防烈度为J（J = Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ、Ⅸ）的建构筑物遭遇I（I = Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ、Ⅸ、Ⅹ）烈度时的破坏概率矩阵[3]。

将计算结果综合成表1矩阵，然后对上述抗震能力指数进行建筑结构类型和建筑年代修正，从而得到设防结构的建筑物在不同烈度下的抗震能力指数。

对于未设防的建构筑物抗震能力指数根据Ⅵ度的抗震能力指数确定（表2），并对其进行建筑结构类型和建筑年代修正，从而得到未设防结构的建筑物在不同烈度下的抗震能力指数。

表1 设防等级不同的建构筑物在不同烈度情况下的抗震能力指数

设防烈度	遭遇烈度				
	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	Ⅹ
Ⅵ	0.884	0.724	0.534	0.424	0.392
Ⅶ	0.97	0.884	0.724	0.534	0.424
Ⅷ	1	0.97	0.884	0.724	0.534
Ⅸ	1	1	0.97	0.884	0.724

表2 未设防的建构筑物在不同烈度情况下的抗震能力指数

遭遇烈度	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	Ⅹ
抗震能力指数	0.85	0.7	0.5	0.4	0.35

根据以上分析，得到城市建构筑物的抗震能力指数公式：

$$IL = IL1 \times a\% \times (1 \times b1\% + 0.9 \times b2\% + 0.8 \times b3\%) \times (1 \times c1\% + 0.95 \times (1 - c1\%) + IL2 \times (1 - a\%)(0.8 \times d1\% + 0.75 \times d2\%)(1 \times f1\% + 0.95 \times (1 - f1\%)) \qquad (2)$$

式中：IL－建构筑物的抗震能力指数；$IL1$－设防建构筑物的抗震能力指数；a %－抗震设防的建构筑物面积占城市总建筑面积的百分比；$b1$ %－90年代建造的设防建构筑物面积占所有设防建构筑物面积百分比；$b2$ %－75～90年代建造的设防建构筑物面积占所有设防建构筑物面积百分比；$b3$ %－75年以前建造的设防建构筑物面积占所有设防建构筑

维普资讯 http://www.cqvip.com

物面积百分比;$c1$ % －钢和钢砼结构建构筑物面积占所有设防建构筑物面积百分比;$IL2$ －未设防建构筑物的抗震能力指数;$d1$ % － 50～70 年代建造的未设防建构筑物面积占所有未设防建构筑物面积百分比;$d2$ % － 50 年代以前建造的未设防建构筑物面积占所有未设防建构筑物面积百分比;$f1$ % －钢和钢砼结构建构筑物面积占所有未设防建构筑物面积百分比;

2.1.1.2 确定建构筑物造成的地震灾害损失

(1) 确定人员伤亡

本文统计了在"九五"期间作过震害预测城市的建构筑物抗震能力指数和它们所对应的人员死亡率。考虑到人员伤亡率在数值上跨越较大,而且这些震害预测城市对人员伤亡的预测只能准确到量级上,而不是绝对意义的准确,所以把取负对数后的人员伤亡率为纵坐标,房屋抗震能力指数为横坐标,进行回归统计,如图 3 所示。①

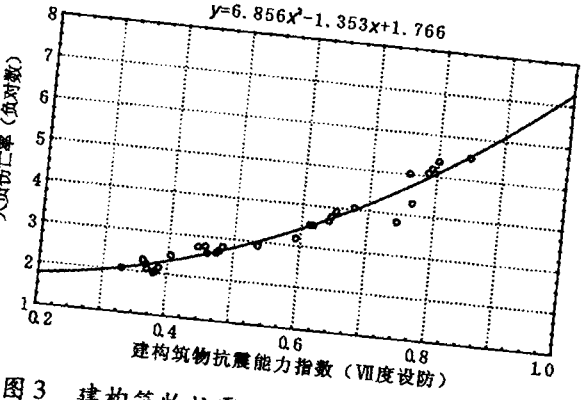

图 3 建构筑物抗震能力指数与人员伤亡率的对应关系(Ⅶ度设防)

Fig. 3 Casualty rate versus seismic capacity index of buildings and constructions (with a seismic design of VII intensity).

由以上的统计回归得出建构筑物抗震能力指数员伤亡率之间的对应关系:

$$Y = 6.856X^2 - 1.353X + 1.7 \quad (3)$$

X 为建构筑物抗震能力指数;Y 为人员伤亡对数。

定经济损失

构筑物破坏造成的经济损失,主要包括建构身破坏所造成的结构损失和室内财产破坏造失。

结构损失。类似于人员伤亡的确定,本文统九五"期间作过震害预测城市的建构筑物指数和它们所对应的结构损失,取对数后的结构损失为纵坐标,取房屋抗震能力指数为横坐标,进行回归统计,结果如图 4 所示。①

根据上述分析,得到建构筑物抗震能力指数与结构损失之间的对应关系:

$$Y = -4.11X^2 + 1.67X + 2.6 \quad (4)$$

式中 X 为建构筑物抗震能力指数;Y 为结构损失(万元/万平方米)对数值。

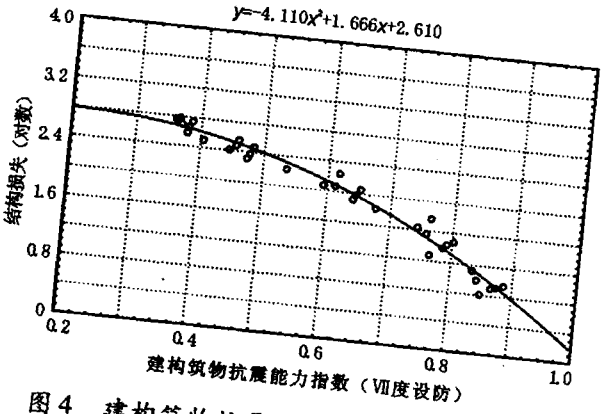

图 4 建构筑物抗震能力指数与结构损失的对应关系(Ⅶ度设防)

Fig. 4 The loss due to construction damage versus the seismic capacity index of buildings and constructions (with a seismic design of VII intensity).

② 室内财产损失。财产损失与建构筑物的抗震能力和城市的财富积累状况(用城市近十年的人均"GDP"来代表)有关。类似于人员伤亡的确定,本文统计了在"九五"期间作过震害预测的城市建构筑物抗震能力指数和它们所对应的室内财产损失及城市近十年的人均"GDP",取房屋抗震能力指数和取对数后的人均"GDP"为 X、Y 坐标,取对数后的室内财产损失作为 Z 坐标,进行回归统计,统计结果如图 5 所示①。

城市中建构筑物抗震能力指数、近十年人均"GDP"与室内财产损失之间的对应关系为

$$Z = (-1.24) \times (-2.97X + 0.71Y)^2 + 4.55 \times (-2.97X + 0.71Y) - 1.91 \quad (5)$$

式中,X 为建构筑物抗震能力指数;Y 为近十年人均"GDP"对数值;Z 为室内财产损失(单位:万元/万平方米)对数值。

上述所建立的建构筑物抗震能力指数与人员伤亡率、经济损失之间的关系式都是针对Ⅶ度设防的

① 资料来源于中国地震局"95－06"项目"大中城市防震减灾对策示范研究"报告.1999－2000;和:海口市地震局,中国地震局工程力学研究所,海南地学工程研究中心.海口市防震减灾规划基础研究.1999.

维普资讯 http://www.cqvip.com

城市所得到的结果。关于其它设防烈度的城市的关系还需要进一步的研究。

(3) 确定震后恢复时间

本文根据 ATC－13 报告[4]统计得出了城市35种社会功能类别的建构筑物在不同破坏状态下所需要的平均恢复时间。并相应于我国的震害等级划分标准,得到各级破坏状态所需要的恢复时间,如表3所示。

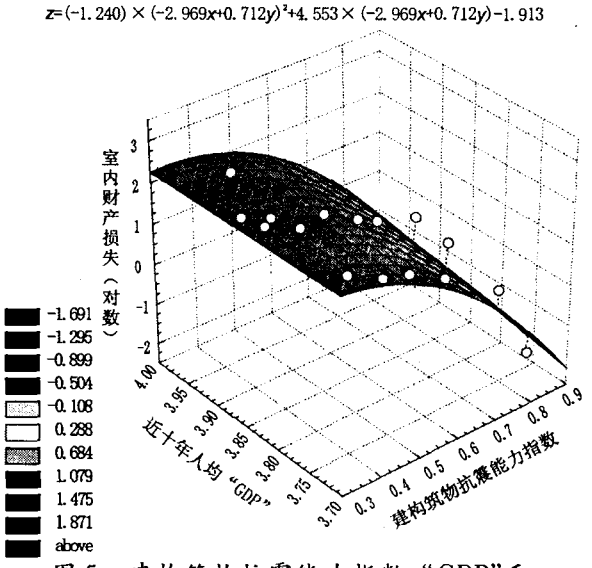

图5 建构筑物抗震能力指数、"GDP"和财产损失的对应关系(Ⅶ度设防)

Fig. 5 The relationship among GDP, property loss and the seismic capacity index of buildings and constructions (with a seismic design of VII intensity).

表3 恢复建构筑物功能所需要的时间(中国分级标准)

破坏程度	恢复功能		
	30%	60%	100%
中等破坏/天	28	52	88
严重破坏/天	98	159	239
毁坏/天			437

本文定义的震后恢复时间是指恢复城市基础设施和工程正常运行,恢复生命线,恢复生产,清除废墟,给居民提供半永久性的生活条件,居民生活得以正常化。根据此定义,认为中等破坏和严重破坏状态下功能恢复50%以上(因为功能在修复过程中,可以部分利用)和毁坏状态下取完全恢复天数三分之二(相应的替代建筑完成部分功能)城市功能能够基本恢复。则定义出本文在不同破坏状态下的震后恢复时间(表4)。

表4 本文定义的震后恢复时间

震害等级	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
震后恢复时间	1周	1个半月	5个月	10个月

由表4和本文所定义的建构筑物抗震能力指数可知,相应于不同的建构筑物抗震能力指数所需要的恢复时间不同,如表5所示。

表5 建构筑物抗震能力对应的震后恢复时间

抗震能力指数	0.8	0.6	0.4	0.2
震后恢复时间	1周	1个半月	5个月	10个月

首先根据本文前述的方法确定城市建构筑物的抗震能力指数,然后利用线性插值法在表5中查出不同破坏状态的建构筑物恢复功能所需要的时间。

2.1.2 生命线系统对地震灾害损失的影响

利用线性加权法确定了生命线系统的抗震能力指数,把生命线系统对城市防震减灾能力的作用体现在它作为一个影响因子在次生灾害防御能力指标体系和震后应急救灾能力指标体系中,来最终实现它对城市防震减灾能力的影响作用。本文根据生命线系统的抗震能力指数把其抗震能力分为好、中等、差三个等级,并由此确定它在指标体系中的取值[6]。

2.1.3 次生灾害(含地震地质灾害)造成的地震灾害损失

本文首先用线性加权法确定了城市抗御地震次生灾害的能力指数。并根据文献[5]统计的本世纪以来已经发生造成人员死亡的1 100起地震中,次生灾害所造成的人员伤亡大约占所造成人员伤亡总数的15%。本文取次生灾害所造成的地震灾害损失为建构筑物所造成损失的0%~30%。

根据城市抗御地震次生灾害的能力指数将城市抗御次生灾害的能力分为好、中等、差三个等级,不同的抗震能力等级造成灾害损失不同,表现为对建构筑物灾害损失的修正取值不同,如表6所示。

表6 次生灾害对直接经济损失、人员伤亡和震后恢复时间的修正取值

遭遇烈度	抗震能力等级		
	好	中等	差
Ⅵ	1	1	1
Ⅶ	1	1	1.05
Ⅷ		1.05	1.1
Ⅸ	1.05	1.1	1.2
Ⅹ	1.1	1.15	1.3

2.2 其它因素地震灾害损失的影响

本文确定城市地震中工程性设施破坏所造成地震灾害损失的方法和关系式都是根据以往的震害经验统计分析达到的。毋庸质疑,这种方法和关系产生于一定的社会经济背景条件(即指标体系中工程性措施以外的其它五项因素)。在作统计的地震地区中,有的震区社会经济背景条件利于减少地震灾

维普资讯 http://www.cqvip.com

害损失;有的地区则相反。总体来说,计算方法所依赖的社会经济背景条件应该表示一种平均的趋势。基于以上这种情况,在确定其它五项因素对人员伤亡、经济损失和震后恢复时间的影响时可以这样考虑:假如这五项措施中的防御能力指数(由每项措施中的指标线性加权而得)处于一种平均状态,则它们对由工程性设施破坏造成的地震灾害损失不产生影响;假如这五项措施的防御能力有利于城市抗震能力,将起到减少损失的作用;否则将增加城市地震损失。可以把这种影响看作对城市工程性设施所造成损失的一个修正,具体修正数值计算如下:

$$\lambda_{人员伤亡} = 1 - \sum_{i=1}^{5}(\alpha_i - \bar{\alpha}_i)\varphi \qquad (6)$$

$$\lambda_{经济损失} = 1 - \sum_{i=1}^{5}(\alpha_i - \bar{\alpha}_i)\eta \qquad (7)$$

$$\lambda_{震后恢复时间} = 1 - \sum_{i=1}^{5}(\alpha_i - \bar{\alpha}_i)\pi \qquad (8)$$

式中 $\lambda_{人员伤亡}$:对工程性设施破坏造成人员伤亡的修正系数;$\lambda_{经济损失}$:对工程性设施破坏造成经济损失的修正系数;$\lambda_{震后恢复时间}$:对工程性设施破坏所需震后恢复时间的修正系数;α_i:城市指标体系中五项因素中每项因素防御能力指数数值;$\bar{\alpha}_i$:城市指标体系中五项因素中设定的每项因素防御能力指数的平均值;φ:相对于人员伤亡,城市五项因素中每项因素归一化后的权数[6];η:相对于经济损失,城市五项因素中每项因素归一化后的权数[6];π:相对于震后恢复时间,城市五项因素中每项因素归一化后的权数[6]。

2.3 地震间接经济损失的确定

对于地震造成的间接经济损失,本文通过有关分析,取"间接经济损失为直接经济损失的0.4~2倍",并认为间接经济损失可以被表达为直接经济损失、灾区的社会经济结构和修复损坏的物理设施所需要的时间三者的函数[7]。即与城市建构筑物的抗震能力和社会经济结构的防御能力有关。

最后,由城市地震后的直接经济损失与间接经济损失之和构成了城市震后的总体经济损失。

通过上述分析可知,根据城市防震减灾能力指标体系,可以得到城市在不同烈度地震下可能造成的地震灾害损失——人员伤亡、经济损失和震后恢复时间。

3 城市防震减灾能力综合指数的确定

城市防震减灾能力评价是一个多目标的评价过程,用城市在地震中的人员伤亡率、经济损失率和震后恢复时间三方面共同评价。本文用灰色关联分析方法将这三方面结合成城市的防震减灾能力综合指数来评价城市的防震减灾能力,参考数列为城市地震损失社会可接受水平。

3.1 城市地震损失可接受水平确定

根据以往的工作和其它自然灾害的统计资料[8]提出了建议的社会可接受水平数值,并考虑下列两个因素:(1)区分不同城市和地区的经济发展水平;(2)区分不同烈度的影响。具体数值见表7。

在进行城市防震减灾能力评估时,可以根据不同的城市情况在上表中选取,当然也可以提出自己认为合适的地震损失可接受水平。

表7 建议的社会可接受地震损失

	一般的城市或地区(指经济中等发达地区)					重要的大城市和经济发达地区				
遭遇烈度	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	Ⅹ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	Ⅹ
可接受死亡率/%	8×10^{-6}	2×10^{-5}	5×10^{-5}	2×10^{-4}	1×10^{-3}	8×10^{-7}	6×10^{-6}	1×10^{-5}	2×10^{-5}	4×10^{-4}
可接受经济损失率/%	2	4	5	8	10	1	2	3	4	5
可接受震后恢复时间	一周	两周	一个月	一个半月	两个月	一周	两周	三周	一个月	六周

3.2 确定城市防震减灾能力综合指数[9]

3.2.1 各项评价准则的函数转换

为了达到不同评价准则的标准统一,引入相应的转换函数。下面以一般城市抗御Ⅵ度地震为例进行说明。

对人员伤亡率引入转换函数

$$U(x) = \begin{cases} 1 & x < 8\times10^{-6} \\ \dfrac{\lg x}{\lg(8\times10^{-6})} & x \geq 8\times10^{-6} \end{cases} \qquad (9)$$

对经济损失率引入转换函数

$$U(x) = \begin{cases} 1 & x < 2\% \\ \dfrac{\lg x}{\lg(2\%)} & x \geq 2\% \end{cases} \qquad (10)$$

对震后恢复时间引入转换函数

$$U(x) = \begin{cases} 1 & x < 7 \\ \dfrac{\lg 7}{\lg x} & x \geq 7 \end{cases} \qquad (11)$$

式中,"8×10^{-6}"代表社会可接受的人员伤亡率;"

维普资讯 http://www.cqvip.com

2%"代表社会可接受的经济损失率;"7"为7天,代表社会可接受的恢复时间(表8)。3.2.2 确定城市防震减灾能力指数模型

参照灰色关联分析方法,设城市地震社会可接受水平为参考序列:$U_0(u_{0j})$,$(u_{0j}=1,,j=1,2,\cdots,m)$,并将其转化为标准值1;具体城市地震中的灾害损失为比较序列 $U_i(u_{ij})$,$(i=1,2,3,\cdots,n,j=1,2,\cdots m,)$;利用转换函数将其转化为相应的数值。

模仿灰色关联系数定义方法,引入比较序列与参考序列各项准则间的关联系数为

$$\zeta_{0i}(j)=\frac{1}{1+\Delta_{0j}(j)} \tag{12}$$

式中:$\Delta_{0j}(j)=|U_0(u_{0j}-U_i(u_{ij}|,(i=1,2,\cdots,n,j=1,2,\cdots m)$,表示参考序列 U_0 与比较序列 U_i 的第 j 项准则绝对差值,由于 $\Delta_{0j}(j)$ 的取值区间为[0,1],故关联系数的取值区间为[0.5,1]。

从式(12)得到了各比较序列与参考序列的各项准则的关联系数值。并将各项准则的关联系数集中体现在一个值上(关联度),采用加权法进行处理:

$$r_{0i}=\sum_{j=1}^{m}a_i\zeta_{0i}(j) \tag{13}$$

式中,a_i 为各项评价准则的权重,关联度 r_{0i} 的含义为比较序列与参考序列中各项准则关联系数之加权和,集中反映了比较序列与参考序列的关联(接近)程度。显然,r_{0i} 的值域为[0.5,1]。关联度越大,说明城市抗御地震的能力愈强;关联度越小,说明城市抗御地震的能力愈弱。由于关联度的大小反映城市抗御地震能力的强弱,故将关联度定义为城市防震减灾能力指数。而且此方法确定的城市防震减灾能力指数可以定量地表示出城市防震减灾能力的现状距我们可以接受的城市防震减灾能力水平有多大的差距。本文根据差距的大小把城市的防震减灾能力分为强、中等、差三个级别,并提出了建议值(表8)。

表8 城市防震减灾能力综合指数的等级分类

防震减灾能力等级分类	强	中等	差
关联度	0.94~1	0.82~0.94	<0.82

4 算例分析②

现将上述建立的城市防震减灾能力评估模型应用于世界10个城市评价分析。

具体城市的指标取值在此不一一详述,下面将列出这10个具体城市的评价分析结果。

4.1 工程性因素抗震能力指数确定

(1) 各个城市建构筑物的抗震能力指数(见图6)。

(2) 生命线系统的功能满意度和次生灾害防御能力(见表10)。

4.2 其它五项因素抗震能力评价结果

其它五项因素对工程性设施造成的人员伤亡、经济损失和震后恢复时间的修正系数结果如图7所示。

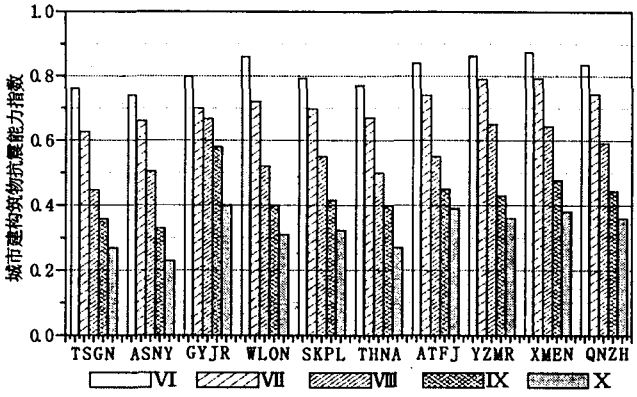

图6 10城市在Ⅵ~Ⅹ烈度情况下建构筑物抗震能力指数

Fig.6 The seismic capacity index of buildings and constructions in 10 cities under seismic intensity from VI to X.

② 算例数据取自以下10个报告:

[1] Municipality of Tashkent. IDNDR RADIUS Project—Tashkent RADIUS Project Case Study Final Report. 1999.

[2] Addis Ababa City Government, Addis Ababa RADIUS Group, Foreign Relation and Development Cooperation Bureau. IDNDR RADIUS Project - Addis Ababa RADIUS Project Case Study Final Report. 1999.

[3] Municipality of Guayaquil. IDNDR RADIUS Project - Guayaquil RADIUS Project Case Study Final Report. 1999.

[4] Municipality of Bandung, International Decade for Atural Disaster Reduction - - United Nations. IDNDR RADIUS Project - Bandung RADIUS Project Case Study Final Report. 1999.

[5] Municipality of Skopie. IDNDR RADIUS Project - Skopie RADIUS Project Case Study Final Report.

[6] Municipality of Tijuana, IDNDR RADIUS Project - Tijuana, RADIUS Project Case Study Final Report. 1999.

[7] Antofagasta RADIUS Group. DNDR RADIUS Project - Antofagasta RADIUS Project Case Study Final Report. 1999.

[8] Municipality of Izmir IDNDR RADIUS Project - Izmir. RADIUS Project Case Study Final Report. 1999.

[9] 福建省地震局,厦门市地震局,中国地震局地质研究所,中国地震局工程力学研究所. 中国地震局"95-06"项目—"大中城市防震减灾对策示范研究":厦门市震害预测及减灾对策研究. 2001.

[10] 福建省地震局. 中国地震局"95-06"项目—"大中城市防震减灾对策示范研究":泉州市区震害预测及减灾对策. 2000.

维普资讯 http://www.cqvip.com

4.3 城市防震减灾能力指数确定

由10个城市防震减灾能力指标体系中各因素,根据本文前面所叙述的方法可以计算城市在不同地震烈度下的人员伤亡率、经济损失率和震后恢复时间,从而计算出城市防震减灾能力指数(社会可接受水平用的是'一般城市和经济中等发达地区'的防震减灾能力等级标准,具体见表8)(图8)。

根据本文所建议的防震减灾能力指数抗震能力等级划分标准(见表8),得到以上十个城市的防震减灾能力等级(表11)。

表9　10个城市基础数据

城市	简称	国家	地域	人口/万人	人均"GDP"/$	面积/km²	基本烈度或设定地震
塔什干	TSGN	乌兹别克	亚洲	208	6 100	326	Ⅶ~Ⅷ
亚的斯亚贝巴	ASNY	埃塞俄比亚	非洲	263	530	540	Ⅶ~Ⅷ
瓜亚基尔	GYJR	厄瓜多尔	南美洲	210	5 000	340	Ⅷ
万隆	WLON	印度尼西亚	亚洲	240	1 000	19	Ⅷ
斯科普里	SKPL	南斯拉夫	欧洲	44.5	2 200	338	Ⅶ
提华纳	THAN	墨西哥	北美洲	115	21 000	230	Ⅶ
安托法加斯塔	ATFJ	智利	南美洲	228	49 000	90	Ⅷ
伊兹密尔	YZMR	土耳其	欧洲	217	7 000	650	Ⅵ~Ⅷ
厦门	XMEN	中国	亚洲	152	2 500	450	Ⅶ
泉州(部分)	QNZH	中国	亚洲	25	2 150	52	Ⅶ

表10　城市生命线系统功能满意度和抗御次生灾害能力评价结果

城市	塔什干	亚的斯亚贝巴	瓜亚基尔	万隆	斯科普里	提华纳	安托法加斯塔	伊兹密尔	厦门	泉州
生命线系统功能评价等级	中等	中等	差	中等	好	中等	好	好	中等	中等
抗次生灾害能力评价等级	中等	中等	差	差	中等	差	中等	中等	中等	中等

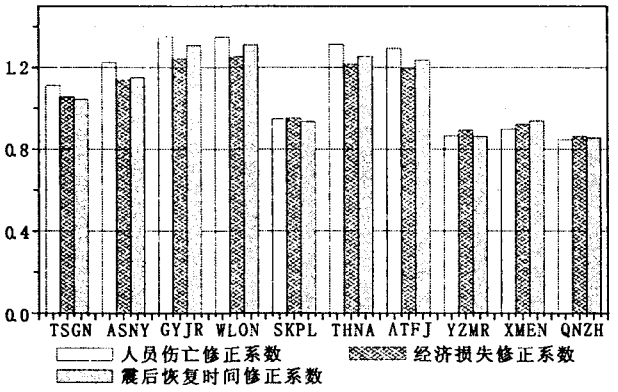

图7　五项因素对经济损失、人员伤亡和震后恢复时间的修正系数

Fig.7　The correction coefficient of economic loss, casualties and post-earthquake rehabilitation time for the five factors.

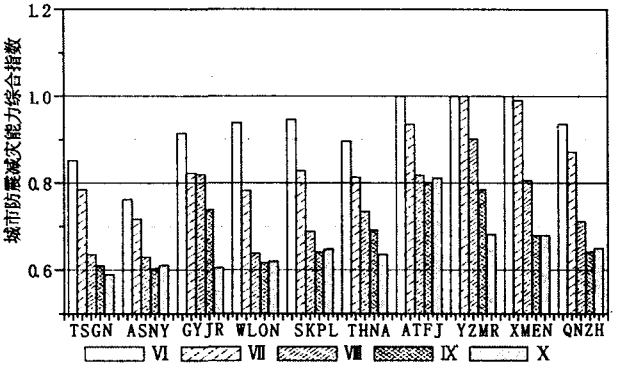

图8　10城市防震减灾能力综合指数

Fig.8　Comprehensive indexes of the ability on protecting against and mitigating earthquake disasters for the 10 cities.

表11　各个城市防震减灾能力等级

城市	遭遇烈度				
	Ⅵ度	Ⅶ度	Ⅷ度	Ⅸ度	Ⅹ度
塔什干	中等	差	差	差	差
亚的斯亚贝巴	差	差	差	差	差
瓜亚基尔	中等	中等	中等	差	差
万隆	中等	差	差	差	差
斯科普里	强	中等	差	差	差
提华纳	中等	差	差	差	差
安托法加斯塔	强	中等	差	差	差
伊兹密尔	强	强	中等	差	差
厦门	强	强	差	差	差
泉州	中等	中等	差	差	差

5 结论

(1) 本文所建立的城市防震减灾能力评估模型是绝对的,从而可以直观、清楚的了解城市抗御不同烈度的能力,而且能够定量上评价城市的地震灾害损失和防御地震的能力;同时它又是相对的,相对于不同的地震烈度,相对于不同的社会可接受水平。即一个城市的防震减灾能力强弱是以一定的目标烈度、一定的社会可接受水平为前提下提出来的。

(2) 在本文中所建立的损失评估方法与目前普

维普资讯 http://www.cqvip.com

遍使用的城市震害损失评估方法相比,本文方法具有考虑因素全面、基础资料收集简单、方法易于计算等优点。而且更有意义的防震减灾能力指数结果可以定量地表示出城市防震减灾能力的现状距我们可以接受的城市防震减灾能力水平有多大的差距,从而为我们的防震减灾工作提供有益的理论依据。

(3) 关于城市防震减灾能力评估模型的精度问题:评估模型是在现有地震工程发展水平的基础上建立起来的,如其中一些数据和公式是在"九五"震害预测结果的基础上取得的,模型的精度和可靠性是与目前地震工程的发展水平相一致的。但应该认识到[6]此评估模型是一种开放的模型,为人们提供了一个评估框架,无论是该模型或相应的框架体系以及它们的精度都能随着地震工程科学水平的不断发展和人们抗震减灾经验的积累,随时得到改善和提高。

(4) 目前离开我国政府提出来的要在2020年实现的防震减灾目标还有十五年的时间,希望本文提出的方法能有利于对城市防震减灾能力的评价,有利于推动我国政府防震减灾目标的实施和实现,有利于增强城市防震减灾能力建设,有利于我国防震减灾工作进一步落实科学发展观,避免盲目性,使我国防震减灾工作出现一个新的局面。

[参考文献]

[1] 赵焕臣,许树柏,和金生. 层次分析法:一种简易的新决策方法[M]. 北京:科学出版社,1986.

[2] 张风华,谢礼立. 城市防震减灾能力指标权数确定研究[J]. 自然灾害学报. 2002,**11**(4):23-29.

[3] 谢礼立,张晓志,周雍年. 论工程抗震设防标准[J]. 地震工程与工程振动. 1996,**16**(1):1-18.

[4] [美]应用技术委员会编. 曹新玲等译. 加利福尼亚未来地震的损失估计[M]. 北京:地震出版社,1991.

[5] A W Coburn, R J S Spense, A Pomonis. Factors determining human casualty levels in earthquakes: Mortality prediction in building collapse[A]. in: Earthquake Engineering Tenth World Conference [C] Rotterdam Balkema, 1992.

[6] 张风华. 城市防震减灾能力评估研究[D]. 中国地震局工程力学研究所,2002.

[7] Hitoshi Taniguchi Dr Eng. Nakamura-ku, Nagoya, Japan, Economic Impact of an Earthquake - Japanese Experiences—Estimation of the amount of direct damage.

[8] 马玉宏. 基于性态的抗震设防标准研究[D]. 中国地震局工程力学研究所,2000.

[9] 杨仕升. 自然灾害等级划分及灾情比较模型探讨[J]. 自然灾害学报. 1997,**6**(1): 8-13.