

震害预测仿真系统研究(一)*

——仿真预测的基本思想

李 杰

(郑州工学院抗震防灾研究室)

摘 要: 现有震害预测方法多带有模式法的痕迹, 预测结果难以真实、全面地反映城市系统的现状特征。基于在预测系统与真实系统之间建立等价联系的思想, 本文提出了建立城市“震害预测仿真系统”的思想与方法。

关键词: 地震, 灾害预测, 仿真

中国图书分类号: TU315·6

震害预测研究工作是编制并实施重点城市抗震防灾规划的一项基础工作。自八十年代初以来, 国内学者针对不同类型或同一类型的结构, 提出了一系列的方法, 并在实际应用中得到了改进与发展。在总结和研究这些方法的基础上, 我们针对现有方法存在的共同问题, 提出了一个新的震害预测总体模型: 震害预测仿真系统模型。建立城市震害预测仿真系统的基本思路是: 根据地震工程的理论成果与震害经验, 建立城市系统的仿真特征参数, 以这些参数集为基础, 利用震害资料与理论方法建立起能够模拟城市在特定条件下震害的仿真系统, 以此仿真系统的震害度为准则, 来判定经验公式或理论方法的近似程度, 进而对城市在未来地震中的种种表现加以预测。

本文首先综述了震害预测领域里的研究概况, 然后, 对仿真预测的基本思想进行了总体的研究与介绍。

1 文献述评

我们大体上按研究文献的发表顺序对这一领域的工作做出一个概略的综述。八十年代初, 文献[1]提出了多层砖房震害预测的强度判别法, 该法以墙体抗震强度系数底层平均抗震强度系数作为判据, 利用历史震害资料统计给出不同烈度下墙体开裂和房屋倒塌的界限值[2], 根据实际房屋的墙体强度与这些界限值的距离综合判定可能破坏的等级。文献[3]则对单层工业厂房提出了树状图分析法, 该法视结构为一个系统, 根据震害经验和《工业与民用建筑抗震鉴定标准》的有关规定, 对厂房各部分分门别类地进行定性震害估

* 收稿日期: 1990.12.21

计,然后根据逻辑推理的原则,按树状图综合推定结构在不同烈度下的震害属性。一般说来,上述两种方法工作量较大,且需要资料与数据较多,因之较为适合于个别重点建筑的震害预测工作。与之同时,文献[4]引入了震害预测的模糊数学方法,并以单层砖柱空旷房屋为例作出了开创性的研究。模糊数学方法应用于震害预测的基本思想是以影响结构破坏的各种主导因素与结构实际震害之间的关系为背景,综合分析和拟合出各个因素的取值对于各个不同破坏等级的隶属函数。对于某一预测结构,可以根据各因素和相应隶属函数给出结构隶属不同破坏等级的隶属度。然后,对各因素取定适当权重,综合给出该结构隶属于某一破坏等级的隶属度。最后,按直接隶属原则,取隶属度最大的那个等级为预测震害。上述工作,一般认为是国内震害预测工作起步阶段中较为成功的先例。1984年,文献[5]提出了总体震害预测的模糊数学模型,这一模型以群体震害估计为目的,根据历史震害资料,建立起各类结构在不同地震动强弱程度,不同场地条件下的模糊震害的近似推断模型,这种震害估计称为震害潜势分析。进而,为了考虑城市结构现状特点,采用经验模式法或模糊评定方法给出建筑调查样本的震害预测结果,并据之以修正上述震害潜势,得出预测小区的震害度。然后,通过落影贝叶斯原理的近似应用,给出不同震害等级的百分比估计[6]。与这种群体估计方法相呼应,一些研究者从统计数学角度发展了经验模式法,使之更有利于进行大样本的震害预测工作。文献[7]给出了多层砖房预测的经验模式法,文中考虑了屋盖的形成、房屋层数、楼盖形式、施工质量与构造措施、墙体抗剪强度、抗震墙面积率、场地土与地基基础七个基本因素,利用唐山地震对天津市的震害资料进行多元回归,给出了七度区多层砖房震害指数的预测公式。对其它烈度区,则通过假定震害指数分布曲线拟合七度区结果,然后修正分布参数值,外推到相邻烈度上去。文献[8]则利用逐步回归法给出了单层工业厂房的经验回归模式,基于112幢砼厂房和287幢砖柱厂房,通过因素筛选,该文分别给出了砼柱和砖柱单层工业厂房在八度区Ⅱ类土上的经验预测模型,对其它烈度及场地,则采用加减震害指数的办法处理。与此同时,文献[9]、[10]应用并发展了文献[4]的方法,将多因素的隶属函数归结为模糊关系方程,并仍采用加权平均的方式给出结构隶属于各破坏等级的隶属度。文献[9]是应用于老旧民房的例子,文献[10]则为应用于园形砖烟囱的例子。上述这几类统计经验模式和模糊关系方程方法的共同缺点是仅对某些烈度给出了具体计算公式,而对其它烈度的预测则属于推断估计性质。有鉴于此,文献[11]和[12]分别给出了单层砼柱工业厂房和多层砖房在多种烈度条件下的经验关系。文献[11]将单层砼柱工业厂房的震害视为排架系统、围护结构、屋面系统震害的综合,对排架系统采用受弯指数作为基本参数统计震害规律,对围护结构采用墙高指数统计震害规律,对屋面系统则区分不同烈度,给出震害指数经验值。利用海城、唐山地震中200多个单层厂房的震害实例,最终统计给出了单层工业厂房在7、8、9、10度条件下的震害指数经验公式。文献[12]则利用层间平均抗剪强度的概念,根据唐山、海城、东川、阳江等地震中的200余座多层砖结构震害资料,统计给出了多层砖房在7、8、9、10度条件下的震害指数经验估计公式。该文还同时介绍了框架结构引用楼层层间屈服强度作为基本参数估计震害的方法,与前述经验模式不同,楼层屈服强度与楼层最大延伸率的关系取自大量结构弹塑性地震反应分析的平均结果,而楼层最大延伸率与震害等级估计之间关系则由实际试验资料统计判定,所以,这种预测模式可视为半经验、半理论

模式。这种半经验、半理论的方法还见于文献[13],只是在那里是根据层间屈服强度,利用简化算法给出结构层间弹塑性最大位移反应,根据这一最大反应代表值的概率统计特征,结合框架及柱的试验资料,建立不同破坏状态下的极限状态方程,运用近似的概率方法计算不同破坏状态下的失效概率,进而给出群体震害预测的数量估计。对于数量较少时的框架结构预测,该文也同时给出了不同破坏状态与层间屈服强度系数的对应关系。半经验半理论的方法也被应用于烟囱的震害预测之中,在文献[14]中,是采用振型反应谱方法计算烟囱截面最大应力,以最大应力与允许应力的比值做为基本参数,参照震害资料来给出震害程度的估计判断。新近,文献[15]将这种半理论模式的思想与模糊关系方程组相结合,提出了用结构动力反应与震害关系的模糊识别模型来预测震害的方法,在该文中,具体提出了单层砖柱房屋的预测模型和预测方法。在群体估计方面,与文献[5]中的总体模相对应,文献[16]提出了房屋震害预测的人-机系统模型,这种方法以模式法为基础进行样本结构的震害预测,然后以此系统结果为基础,选定城市房屋普查中较易获取的一些基本数据,分类统计数据项与预测震害的关系,即建立所谓关系数据库,以此关系数据库预测大量一般房屋的震害情况。

在国外,震害预测的研究工作开始于七十年代初,比较有影响的工作有谱矩阵法、易损性分析法^{〔17〕}、专家系统法^{〔18〕}、延性指数法^{〔19〕}、震害期望值方法^{〔20〕}等。由于这些方法有些不适合我国国情,有些已在我国的研究工作中得到了改进和发展,这里就不再一一进行评述了。

2 仿真预测的基本思想

综观震害预测领域里的研究进展,我们可以发现两条明显的主线,其一是沿着统计数学的思想,通过建立经验回归关系来进行震害程度的估计;其二是沿着模糊数学的思路,利用模糊关系方程建立预估震害的模式,这两类方法可统称为模式法。而半理论方法,不过是在参与统计或引入模糊关系之前,先进行了一些理论分析,以期使计算更有理论依据,就其基本思路而言,仍不脱借重历史震害的痕迹。值得指出,由于地震工程目前的理论水平还不足以对种种复杂震害做出全面而得当的解释。在目前,企图以纯理论方式来预测震害尚不现实。从另一角度,我们也注意到,在震害预测研究的范围上,存在从单体预测向群体估计发展的趋势;在模式法与群体预测方式的结合上,对经验模式和模糊数学模式,则有互相渗透与交叉使用的现象。

在分析、总结上述震害预测研究方法的同时,我们还发现,目前的研究工作一般倾向于一种预测程式的建立,而对建立这种预测程式的客观背景则注意不够。因之,在具体使用这些方法于具体城市抗震防灾规划基础研究工作时,便自然出现这样一个问题:上述预测程式所依据的客观背景是否与我们要研究的城市系统相符呢?更明白地说,城市系统现状与历史震害资料之间是否存在差异呢?对这一问题的回答显然是肯定的。事实上,无论是由震害经验总结的经验关系或模糊关系,还是由理论研究总结的半理论半经验方法,都是对特定震害样本集合研究的成果,虽然它们能部分地反映结构震害的一些本质特征,但很难全面反映影响结构震害的各种因素,也难以全面反映城市系统的现状特征。在历史震

害资料与城市现状之间的桥梁是经验或模糊关系,而抽去了城市现状与历史资料之间的千变万化的差异。这样,当震害预测成果与人们预期的结果之间出现差异时,只好采用“拍脑袋”修正的方法。这往往使这项很严肃的工作在相当程度上失去其科学价值,换句话说,抗震规划面对的是一个与城市现状不符的伪系统。在另一方面,目前提出的种种震害预测方法,也缺乏一个评判其适用性的客观标准。显然,由于上述原则,对于不同城市或不同小区的结构物,适用的模式预测方法应该是可以选择的,而现在,我们尚缺乏一种选择的客观标准。有感于此,我们在自己的实际工作基础上,提出了震害预测的“仿真系统”方法这一新思路与新方法。

如前所述,震害预测模式法都是源于特定样本集合的研究结果,一方面,模式之中考虑的因素不尽全面,而当应用于实际预测时,所面对的系统与其产生系统的内部结构就很难相符。另一方面,对同一类型的结构,现在往往并存有几种预测公式,各公式考虑因素不同,产生背景不同,因之其预测精度也不易比较。因此,我们希望建立起一种系统,它应能实现两个基本目的。其一,对现存系统,能提供一种反映其内部结构特征的工具,并把这种工具与模式预测结合起来,综合推定真实系统的震害分布。其二,要求提供一个判别系统,它能对所采用模式法的适用程度作出定量评价。

显然,通过理论分析途径,对各类典型结构找出影响震害的主导因素,然后对各个实际系统,根据具体情况建立预测评估模式,固然也是一种途径,但这样做时,实际系统千差万别,对每一具体系统都总结一套公式显然是不现实的。同时,这样做也不能实现上述第二条要求。

沿着上节所述的两类群体预测模型进行工作,我们发现,这两类总体模型都不可避免地带有模式法的痕迹,甚或受模式法的约束,因此,便自然解决不了真实反映城市系统现状这一要求,同时,它们也同样不能提供对模式法适用的判别准则。

为了解决上述问题,我们提出了仿真预测的思路。这种思想把城市作为一个系统(S),把历史震害也作为一个系统(ES)。我们试图找出一组参数,通过它们能够定量刻划系统的内部结构,从而建立起城市系统与历史震害之间的对应关系。这组参数我们称之为仿真特征参数。对于任何一个待预测的城市,我们总可以获得一批能基本反映城市现状的调查样本。把这些调查样本分门别类,并以上述仿真特征参数为度量,建立起仿真特征参数集合。然后以这些仿真特征参数集合为约束条件,对历史震害进行筛选,选取出一个具有与真实系统结构相仿的集合,这一集合我们称之为仿真系统(SS)。所谓仿真预测,即是以仿真系统的震害分布规律来规范真实系统的震害分布规律。记 ind 为具体结构的震害指数, D_s 为真实系统的震害度(定义见[21]), D_{ss} 为仿真系统的震害度,则上述关系可以描述为:

$$D_{ss}(\text{ind}) \rightarrow D_s(\text{ind}) \quad (1)$$

式中: \rightarrow 表示赋予。

沿着上述思想,我们提出如下建立震害预测仿真系统并用之于震害预测的途径:

①在城市现状调查工作的基础上,以烈度背景、场地条件、建(构)筑物的基本结构类型为分类原则,并适当考虑建筑物的使用用途特征,建立起分类样本集;

②对各分类样本, 计算其结构仿真参数, 从而建立起分类结构仿真参数样本集合, 选定适当的区间数, 给出各样本集合关于结构仿真参数的频数分布 $P(\lambda)$;

③结合地震动仿真参数、场地仿真参数、结构仿真参数、从历史震害资料中抽取背景相符、频数分布相同的震害集合, 由于尚未进行有关修正, 称这一族集合为拟仿真系统(PSS);

④计算拟仿真系统的震害度 $D_{PSS}(ind)$, 根据真实系统中的结构设防状况对这一震害度的基本参数进行修正, 从而给出仿真系统的震害度 $D_{SS}(ind)$;

⑤对真实系统的各类样本集合, 采用成熟的模式法进行震害预测, 给出震害指数并计算其震害度 $MD_S(ind)$;

⑥以 $D_{SS}(ind)$ 规范 $MD_S(ind)$, 即采用仿真优化技术求取关于模式法的修正系数; ⑦修正各样本集合的震害指数, 最终给出城市震害预测矩阵。

上述做法可以用图1所示流程来表示。

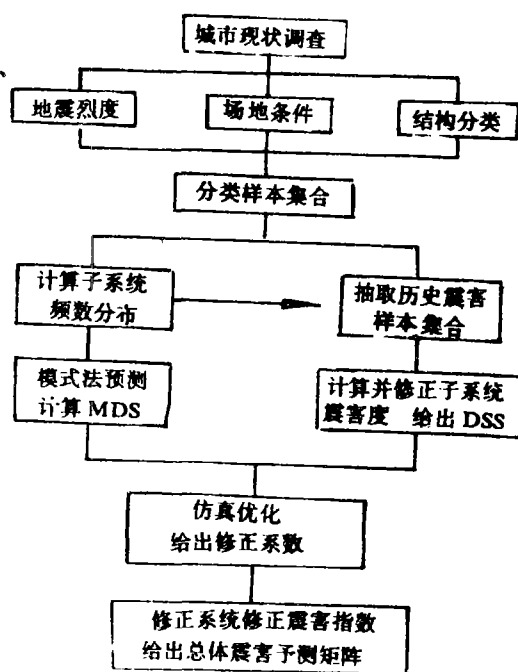


图 1

3 结 论

震害预测仿真系统的提出, 旨在克服模式法的局限性, 使预测系统与真实城市系统具备一定程度上的等价结构关系。为了实现这一基本的预测思想, 必然引发一系列的后续研究工作, 在本文工作的基础上, 我们将在以后陆续介绍如何在实际应用中实现上述理论设想。

参 考 文 献

- (1) 杨玉成, 杨柳等. 现有多层砖房震害预测的方法及其可靠性. 地震工程与工程振动, 1982(3)
- (2) 杨玉成, 杨柳等. 多层砖房的地震破坏和抗倒设计. 地震出版社, 1981
- (3) 陶谋立, 董伟民. 小区单层厂房的震害预测方法. 河南抗震, 第5期
- (4) 刘锡荟, 董克成. 烈度评定与震害预测中的模糊方法. 地震工程与工程振, 1982(4)
- (5) 刘锡荟, 王孟玖, 汪培庄. 震害预测的模糊数学模型. 建筑结构学报, 1984(1)
- (6) 刘锡荟, 陈一平等. 建筑物震害预测的港影贝叶斯原理的应用. 地震工程与工程振动, 1985(1)
- (7) 李荷等. 烟台市多层砖房震害预测. 烟台市城市抗震防灾规划和烟台市城市抗震基础资料, 1984

- (8) 吴育才, 谭良. 单层厂房的震害预测. 工程抗震, 1985(6)
- (9) 金国梁等. 老旧民房地震破坏预测的方法. 工程抗震, 1985(2)
- (10) 金国梁等. 圆形砖烟囱震害预测的方法. 工程抗震, 1986(4)
- (11) 尹之潜等. 单层工业厂房震害估计方法. 地震工程与工程振动, 1987(4)
- (12) Yin Zhiqian et al. A Method for Estimating Earthquake Damage and Loss. Intertronal Sympaslam on Earthquake Countermeasures. 1988.6, Beijing, China
- (13) 高小旺等. 钢筋砼框架房屋的震害预测方法. 建筑科学, 1989(1)
- (14) 苏文藻. 厦门市烟囱的震害预测方法. 世界地震工程, 1988(4)
- (15) 徐祥文, 黄崇福. 结构动力反应与震害关系的模糊识别. 地震工程与工程振动, 1989(2)
- (16) 杨雅玲, 杨玉成. 城市震害预测中的房屋数据库. 世界地震工程, 1988(1)
- (17) 章在塘. 地震危险性分析. 同济大学, 1986
- (18) Yao, J.T.P. Damage Assessment of Existing Structures ASCE EMA, 1980
- (19) Akchori shibate presicion of the probability of carthquake damage to reinforces concrete building groups in a city TWCEE V II 1980
- (20) A.C.Boissonnade H.C.Shah Earthquake Damage and Loss Estimation—Revien of Available Methods Proc of us-PRC Bilateral Werkshop on Earthquake Engineering Harbin 1982. PP.F-4-1~F-4-28
- (21) 刘锡荃等. 模糊烈度. 地震工程与工程振动, 1983(3)

Research on the Simulation System of Earthquake Disaster Prediction (I)

—The Idea of Simulation Presicion

Li Jie

(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: Basing on the state-of-the art of earthquake disaster prediction, this paper presented the idea of simulation prediction. Considering the equivalent relationship between the prediction system and the real system, we have discussed a general method to set up the simulation system of earthquake disaster prediction.

Keywords: seismic, disaster prediction, simulation