

陈鑫连 主编

地震灾害的航空遥感信息 快速评估与救灾决策

科学出版社

地震灾害的航空遥感信息 快速评估与救灾决策

主 编： 陈鑫连

副主编： 魏成阶 谢广林

科学出版社

1995

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书分析、预测了全国未来 50 年内地震灾害损失的概况,并从震害的航空遥感信息入手,论述了震害影像信息的快速获取、快速提取及其规程。地震区背景数据库的建立是震害损失评估的基础,因此书中剖析了数据库快速生成的技术系统。本书通过邢台、海城、唐山、澜沧-耿马等震例,利用航空遥感信息探讨了震害损失快速评估的方法,建立了不同自然条件、不同人文经济环境的快速评估模型。此外,通过大量震例的剖析,建立了大城市、中小城市和农村在特大、重大、中等三种震害情况下的救灾、减灾模型。

本书可供从事地震灾害、工程建设、航空遥感和计算机软件开发等科技人员参考,也可供救灾减灾和社会保险等部门的有关领导与行政人员阅读参考。

地震灾害的航空遥感信息 快速评估与救灾决策

主 编 陈鑫连

责任编辑 彭胜潮

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

震升信息处理技术服务部印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1995 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/16
1995 年 12 月第一次印刷 印张:8 1/4
印数:1—1 000 字数:198 000

ISBN 7-03-005174-2/P·894

定价: 15.00 元

前 言

遥感技术的发展为地震灾害的快速调查、震害损失的快速评估提供了一种新方法、新手段,也为救灾、减灾决策提供了一个重要的依据。国内外应用遥感技术对水灾、森林火灾的实时监测与灾害损失的快速评估已取得良好效果,对地震灾害损失的快速调查与评估也进入了实验阶段。1991年国家计划委员会将此纳入“遥感技术应用研究”攻关项目的一个专题,并由国家地震局、中国科学院有关下属单位承担此项研究工作。

众所周知,强烈地震具有突发性、毁灭性的特点,它可在几秒钟至几十秒钟内摧毁一座城市,例如1976年唐山7.8级地震,几乎把唐山市夷为平地,造成24万多人死亡,直接经济损失逾100亿元。我国是一个多地震的国家,1988年以来又进入一个新的地震活跃期,先后在唐古拉山、澜沧、耿马和台湾海峡等地,发生了四次 $M > 7$ 级地震,因此对震害损失进行速报、快速调查、评估与救灾减灾的决策研究,已成为当务之急。开展震害损失快速评估的方法较多,其中应用航空遥感信息并建立震害损失快速评估技术系统具有独特的作用,它不仅可获取大量的震害信息,而且涉及区域面积广,可为救灾和减轻灾害损失赢得时间。显然,这项研究工作将具有现实的社会效益,并可为救灾减灾的经济投入与人员投入提供一定的科学依据。

本专题的研究从地震灾害损失预测入手,应用概率方法,分析了未来50年内中国地震灾害损失概况和重点地区,从而为地震灾害的航空遥感快速调查提供了理论基础和实用方法。

地震灾害的损失评估与救灾、减灾的决策方案,除了考虑震级大小和破坏程度之外,还与各地的人文、经济和自然地理条件密切相关。在渺无人烟的藏北高原发生一次8级地震,其人员伤亡和经济损失极其微小;在经济发达和人口稠密地区,即使发生 $M \geq 6$ 级地震也往往造成较严重的人员伤亡和经济损失。因此事先建立全国各地的经济、人文、地理背景数据库,无疑可为灾情的损失评估提供一套基数,避免了评估时的空中楼阁现象。另一方面,对事先预测的地震灾害重点易损区,建立地区性的地理背景数据库,将可提供较为详尽的经济、人文数据,从而使震害损失评估和救灾减灾决策方案有了更为扎实的基础保证。

应用航空遥感信息对震害损失进行评估,首先要获得强震后的航空遥感资料,进而对各种震害信息进行提取和进行分类分级。这里既蕴涵有科学技术问题,又要求快速地完成评估任务,以便于尽快实现救灾、减灾之目的。因此,本专题在研究中充分利用现代的高新科学技术,充分发掘计算机技术系统的优势,将震害航空遥感信息的获取、信息的提取、震害的分类分级与判读模型、地震烈度包络线的勾绘与震害损失评估等融为一体,并在攻关研究中建立了图像处理技术与定性、定量量测,震害信息的人机交互判读,震害解译的机助制图等计算机技术系统,而且成功地通过唐山震例的评估检验。

为了检验应用高新科技与计算机技术系统对震害损失进行评估的可信度,本专题选取了震害航空遥感资料较完整的邢台、海城、唐山、澜沧-耿马等震例,从传统的震害影像判读、分析入手,编制相应的1:5万或1:10万震害图,采用抽样计算与积分统计方法,建立破坏矩阵,建立不同区域、不同自然地理条件、不同经济与人文条件下的快速评估模型,而后再结

合上述所建立的计算机技术系统进行验证,反映这两者都是可行的,而且本专题所建立的技术系统也是可信的。另一方面,四个震例损失的差异对比结果表明,在应用航空遥感信息对震害损失进行快速评估和建立相应的评估模型时,应将下列几个问题作为前题条件:①震前有短临预报和没有短临预报的震害损失差异;②大城市、中小城市与农村的震害损失差异;③ $M \geq 6$ 级震群型、 $M \geq 6$ 级强余震与 $M < 6$ 级余震等叠加效应的震害损失差异。这些之所以成为必须注意的前题条件,因为它们的差异往往引导出不同的评估模型。

震害损失评估的目的仍在于救灾、减灾,而救灾、减灾投入的人力、物力和效率,不仅取决于灾情程度,并且与灾区的环境、抗灾能力、救灾的组织机构和行动等密切相关。就是说,从未来 50 年内的震害预测,到地震区有关数据库的建立;从震害航空遥感图像的获取与信息的提取,到震害影像分类分级判读模型的建立与地震烈度包络线的快速生成技术;从震害损失快速评估模型的建立,到救灾、减灾的决策研究,彼此承上启下,形成一个完整的系统,并在该系统中占据一定位置和成为不可缺少的组成部分。

本书为本专题研究成果的缩影,但只是本专题研究成果的一个侧面。四年来,本专题所取得的科技进步大体归纳如下:①展示了未来 50 年内全国震害预测的远景(1:400 万震害损失预测图),建立了地震背景数据库的模型,为震害损失的快速评估奠定了基础。②发展了一套航空影像处理、判读、量测、估计与机助制图的方法和技术规范,实现了应用影像判读模型,在 GIS 支持下完成地震烈度包络线的快速生成技术系统,并具有突破性的进展。③初步建立了不同地震系列、不同自然区域、不同经济与人文区域的震害航空遥感信息快速评估模型,并通过不同震例的试运行检验,基本上可在两天内提交震害损失的粗估意见,两周内提交震害损失评估的总体报告。④救灾、减灾的决策研究在总结国内外大量资料、具有扎实的科学基础上,提出了先进的救灾、减灾方案,它在同一地区、同等灾情的条件下实施时,可为救灾、减灾节省大量的资金、人力和物力,从而显示出其优越的科学预见性和良好经济效益与社会效益。总之,本专题所展现的成果表明,它在地震灾害的理论研究方面和计算机技术系统的开发研究方面,都提高了一个新台阶,因而它具有广阔的前景,它可在今后地震灾害损失的快速调查、快速评估和救灾减灾中实施、应用,当然也应该在实施中加深研究,并使其进一步提高、完善。

本专题在中国科学院自然与社会协调发展局的组织领导下,由国家地震局分析预报中心、中国科学院遥感应用研究所、国家地震局地震研究所、国家地震局地质研究所等单位承担、完成。参加本专题研究的科技人员主要有:陈鑫连、魏成阶、谢广林、李志良、傅征祥、杨喆、杨满栋、孔凡健、朱博勤、张渊智、程家喻、孙士宏、唐汉军、王公学、徐春阳、范治如、张宗科、于天旭、高志明、姜立新、李望洲、岳书玉、范秋林、余步厚、任德凤、魏玉芳、吕志毅等 27 人。本专题得到国家地震局震害防御司的协调组织,并承蒙李裕澈、张琦娟、陈正宜、张宏卫、李革平、陆鸣等同志的大力帮助,特此致谢!

目 录

前 言	i
第一章 中国地震灾害损失的预测研究	1
一、地震灾害损失预测分类	1
二、地震灾害损失预测方法	3
三、未来 50 年四类建筑物地震灾害期望经济损失	6
四、地震灾害人员伤亡期望损失	10
五、存在的问题	13
第二章 全国地震灾害背景数据库	14
一、地理环境信息	14
二、社会经济统计信息	14
三、遥感影像资料	14
四、地震灾害背景数据库模式	15
五、地震灾害背景数据库记录格式	15
第三章 唐山地震灾害损失评估数据库	20
一、数据库的设计思路	20
二、地理信息的采集与处理	20
三、实现与评价	24
四、小结	26
第四章 地震灾害航空遥感信息的快速获取与快速提取	27
一、震害遥感信息源的快速获取	27
二、地震灾害地类的特性与解译模型	29
三、RS 与 GIS 相结合快速调查地震灾害	31
四、小结	32
第五章 地震灾害航空遥感影像的分类分级和影像特征	34
一、震害按受灾对象分类分级的概况	34
二、震害航空遥感分类分级的原则	35
三、各类各级震害内容和划分标准	36
四、各类各级震害的遥感影像特征	41
五、小结	45
第六章 地震烈度包络线的航空遥感信息与 GIS 快速生成技术	
——以唐山地震区作模拟试验	46
一、震害遥感信息的烈度标志与技术流程	46
二、地震区地理背景数据库	46
三、地震灾害航空遥感影像分类分级数据库	48
四、GIS 技术支持下生成的地震烈度包络线	50

五、应用试验实例	52
六、小结	55
第七章 邢台地震震害损失的航空遥感信息与快速评估	56
一、主要震害的航空影像特征	56
二、主要震害的分类与分级	59
三、震害与地震烈度的相关性	59
四、主要震害快速评估的检验	61
第八章 海城地震震害损失的航空遥感信息与快速评估	64
一、主要震害的航空遥感信息	64
二、主要震害的分类与分级	67
三、震害与地震烈度的相关性	68
四、震害快速评估的检验	70
第九章 唐山地震震害损失的航空遥感信息与快速评估	72
一、震害判读结果	72
二、房屋倒塌率与烈度响应	75
三、人员伤害的估算	77
四、建筑物损失估算实例	79
五、震害快速评估的可信度与不确定性	80
六、小结	83
第十章 澜沧-耿马地震震害损失的航空遥感信息与快速评估	84
一、主要建筑物、构筑物破坏判读结果	84
二、山地震害判读结果	85
三、主要震害的分布与统计	87
四、小结	90
第十一章 四大地震震害损失快速评估的综合对比	91
一、地震活动特点、震中环境与震害的对比	91
二、震害与地震烈度的相关性	93
三、震害损失快速评估方法的几个问题	95
四、小结	96
第十二章 震灾预估与救灾决策	97
一、救灾决策系统	97
二、灾情预估	99
三、抗灾能力与救灾结构	101
四、结束语	103
参考文献	105
附录 地震灾害航空遥感快速调查技术规程	107

第一章 中国地震灾害损失的预测研究

地震预测可划分为三个研究任务各异的层次,即地震参数、地震烈度(或地震动)和地震灾害损失预测研究。

地震灾害损失预测研究是在地震危险性分析、建筑物和生命线工程等易损性分析,以及区域或国家级建筑物、设施和人口状态及分布的详细调查基础上,预测未来地震灾害造成的经济损失(币值)和人员伤亡。研究的结果将更易于被政府、社会机构和公众理解、接受和使用。它将是地震预测研究与社会需求结合的重要环节。

现实表明,即使在地震参数预测研究和实用方面取得无可争议的成功之日,也仍然阻止不了地震灾害的产生。然而,通过研究地震灾害的成因和条件,评估潜在地震灾害的损失,并且有针对性地采取有力的科学和社会措施,便有可能极大地减轻灾害的程度。所谓减轻地震灾害是指减轻潜在地震灾害可能对社会及环境造成影响的过程,最终意味着减少伤亡和经济损失。

一、地震灾害损失预测分类

地震断面快速错动、释放能量、地面振动以及所引起的相关物理现象(液化、滑坡和海啸等),可以直接或间接导致建筑物和设施等破坏,造成经济损失(币值)和人员伤亡,概称为地震灾害损失。其数量估计可以按照表达损失的内容、建筑物和设施等的种类、时间尺度、空间(地理)尺度,以及确定性和研究的详细程度等方面加以分类(表 1-1)。

若从应用角度出发,则需要按照潜在地震灾害损失估计的使用者要求,将表 1-1 中的内容以多种方式结合起来,形成一些满足特殊需求的研究类型和方法。按照这样的想法,可以划分出五种基本的应用研究类型。

1. 一般型

这是一种全国大尺度(小比例尺)地震灾害损失区划研究,着眼于一个较长时期内所有类别建筑物和结构物的损失预测,以货币价值和人口伤亡数表达损失程度。这种类型研究的确定性和详细程度较低。它从宏观上对比不同区域面临地震威胁和损害的相对程度,旨在为政府制定国家一级优先资助和计划减轻地震灾害工作的决策时,提供重要依据。研究成果还可供一般公众和社会机构等使用。

2. 减轻灾害型

这类研究以区域、地方和城镇为对象。对研究地区所有类别的建筑物,或挑选出几类建

* 本章由傅征祥、陈鑫连、杨满栋、姜立新等完成。

筑和设施进行易损性分析,预测它们在地震中或一个时期内面临的危险和损失程度(币值和人员伤亡),并提出采取什么行政措施可以使财产损失和人员伤亡减少到何种程度。城市尺度的研究详细程度应高于区域和地方。这种类型研究目的在于为政府职能部门制订减轻灾害措施和指导减灾行动提供依据。主要使用者是制订建筑物建设规范、土地利用计划和有关法令的政府部门。

表 1-1 划分地震灾害损失估计研究类型的要素

表达损失的内容	设施种类	时间尺度	地理范围	确定性和详细程度
• 破坏的货币价值 • 人员伤亡 • 无家可归者 • 基本设施功能 • 潜在高危险性设施的安全 • 经济冲击 • 国家安全	• 一般民用、商用建筑物 • 基本设施(医院、消防队等) • 生命线工程 • 潜在损失大的设施 • 所有类别的建筑物和结构物	• 单个破坏性地震发生后几天 • 十年或百年的地震期 • 假定任意一个时期	• 全国的(小比例尺) • 区域和地方的(中比例尺) • 城镇的(大比例尺)	• 高 • 低

3. 应急计划型

生命线工程是维持城市功能所必需的系统和网络的总称,它包括供水、供电、煤气、交通和通讯等系统。在大地震发生时生命线工程功能受到损害会直接加重地震灾害的程度。该类型要求研究生命线工程系统易损的条件和部位等,预测可能遭到的损失。要求研究成果的确定性和详细程度较高。研究目的在于促进政府和公共事业部门采取和实现更为有效的应急措施,减轻地震灾害损失。

4. 金融风险型

这类损失研究的重点放在估计未来一次地震或一个时期内的地震活动造成建筑物和设施的经济损失,评估私人财产或集体财产的危险和损失,以及保险业面临的金融风险。研究成果主要供保险、抵押租借和投资公司使用。对于政府说来,关心地震保险补偿的财产损失到什么程度。

5. 经济冲击型

目的是评估和预测地震发生后对经济活动和国家安全的间接和长期的冲击。

地震灾害损失研究成果的使用者通常要求得到损失估计是一个单一的精确数字,而不希望是一个可能的范围;使用者还希望获得,地震时哪些建筑物、结构物和设施破坏的具体情况。实际上,研究工作者目前还没有掌握区域建筑物和设施结构特征的过硬和精确的资料,联系到建筑物破坏和功能损害之间关系的资料也较少,所以目前地震灾害损失估计方法并不令人满意和易于应用。研究水平和使用者要求之间的矛盾,只有在大量调查、资料积累和深入研究的过程中逐步解决。

二、地震灾害损失预测方法

地震灾害损失主要指地震对人工建造环境破坏所造成的经济损失和人员伤亡等。影响地震灾害损失程度的两个主要因素是潜在的地震危险性和人工建造设施的易损性。所以,地震危险性分析和易损性分析是地震灾害损失预测和评估的两项基础工作。地震危险性分析主要是地质学和地震学范围的工作,作为土木建筑场地的输入条件,易损性分析是研究地震对建筑物及其他人造设施的损害,主要由工程师、建筑师和社会经济学家等完成。

1. 地震危险性分析

对一个研究地区,合理地确定未来潜在发生地震(称为假想地震或潜在震源)的位置,预测其活动产生的地震动的水平和分布,是地震危险性分析的基本任务。

目前,用定数法(Deterministic method)和概率法(Probabilistic method)表达地震危险性的状态。

(1)定数法。它主要根据历史地震重演和地质构造外推的原则,估计研究地区未来可能发生最大地震的地点和震级,以及地震宏观影响场^[1]。归纳起来要完成两方面的研究:地震危险区划和地震烈度区划。

定数法烈度预测虽然包含了某种概率意义,但并未予以定量化。另外,在利用历史地震作为该方法依据之一,也遇到难以处理的情况。例如在有历史记录并发生过巨大地震的地方,最近的将来不见得再次在原地发生同样大的地震;另一方面,某地很可能发生一次比历史上最大地震还要大的地震,因为“历史”只是地壳运动史上一个片断而已。在这种情况下,找到一种能够确定不同概率的烈度的方法就十分实用了。

(2)概率法。60年代后期,美国的 C. A. Cornell 首先提出用概率论方法进行地震危险性分析,给出场地未来不同烈度地震的概率描述^[2]。作这种地震危险性的概率分析,一般通过下面几个步骤去获得必要的资料:①确定潜在震源(断层)位置;②每个震源区中各种震级地震发生的概率;③从各震源区外推地震动或烈度的衰减规律;④把上述资料综合起来,计算场地地震动危险性曲线,给出单位时间内地震动 A 超过给定值 a 的超越概率^[3]:

$$P(A \geq a) \cong \sum_i \nu_i \iint_{mr} P[A \geq a | m, r] \cdot f_{M,R}(m, r) dm dr \quad (1-1)$$

那么,在 T 时间内, $P_T(A \geq a) = 1 - [1 - P(A \geq a)]^T$ 。式中, $P[\]$ 表示条件概率; $f(\)$ 是概率密度函数; ν_i 是潜在震源区 i 单位时间的地震发生率; m 和 r 是地震震级和离开场地距离; $\sum$ 是对所有震源 i 求和。

显然,某场地 T 时间内发生地震动 a 的概率为:

$$P_T(A = a) = P_T(A \geq a) - P_T(A \geq a + 1) \quad (1-2)$$

通常,描述地震地面振动大小可用地面加速度、速度、位移等。由于绝大多数地区历史地震大小是用烈度量度的,但近代仪器记录的强地面运动资料较少,所以许多研究和应用仍把烈度(I)作为评估地震动和破坏的基础。

2. 建筑物和设施的易损性分析

建筑物和设施的易损性分析如图 1-1 所示。

(1)对建筑物和设施进行易损性分析,首先要建立一个地区建筑物的分类系统。它主要以地面震动时不同建筑物对破坏的抵抗力作为分类依据。表 1-2 是美国采用的某一种建筑物分类系统^[3]。

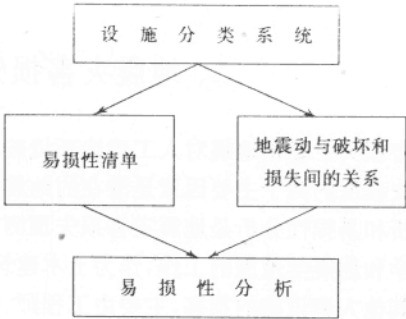


图 1-1 建筑物和设施易损性分析框图

表 1-2 美国的一种建筑物分类系统

建筑物类别	建筑物子类的简述
1A-1	木框架和灰泥框架住宅,不管其面积和高度
1A-2	与住宅不同的木框架和灰泥框架建筑物,高度不超过三层,或地面面积不超过 3 000 平方英尺
1A-3	木框架和灰泥框架结构物,高度不超过三层,不管面积
1B	木框架和灰泥框架建筑物(除 1A 外的)
2A	一层全金属建筑,地面面积不超过 20 000ft ² ①
2B	全金属建筑物(除 2A 外的)
3A	钢框架,优良的抵抗破坏性能
3B	钢框架,普通的抵抗破坏性能
3C	钢框架,中等的抵抗破坏性能(介于 1A,3B 之间)
3D	钢框架,楼层和顶层不是混凝土的建筑物
4A	钢筋混凝土,优良的抵抗破坏性能
4B	钢筋混凝土,普通的抵抗破坏性能
4C	钢筋混凝土,中等的抵抗破坏性能(介于 4A,4B 之间)
4D	钢筋混凝土,预铸造钢筋混凝土,吊起的盖板
4E	钢筋混凝土,地面和屋顶不是水泥
5A	复合结构,小建筑物和住宅
5B	复合结构,优良的抵抗破坏性能
5C	复合结构,普通的抵抗破坏性能
5D	复合结构,中等的抵抗破坏性能
5E	复合结构,无钢筋灰泥建筑物
6	为抗震而特别设计的建筑物

(2)制定研究中需考虑的建筑物和其他设施易损性清单。其最起码的内容包括建筑物设施的地理位置、抗震类型、经济价值、每天不同时段居民数量、用途类型(住房、商业用房或

① 1ft=0.3048m

重要设施)。显然,汇集这些内容的详细程度与工作的深度有关。另外,编制清单可以有不同的方法,最好按与计算机演算相一致的格式去汇集资料,以便于贮存、修改、计算和交换。

(3)对于清单中每一项,要确定损害和有关损失与地面震动强度之间的关系。①最常见的地震动和破坏关系是所谓平均破坏率曲线(图 1-2)。图 1-2 给出表 1-2 所列建筑物类型受地震破坏的典型曲线。损失率用可比价值的百分比表示,这是某类建筑物损失大量资料的平均值。在损失研究中,当仅仅估计破坏造成的币值时,这种形式的关系特别有用。②在某些情况下,仅知道平均破坏率是不够的,需要了解不同破坏状态的损失分布,称为建筑物易损性矩阵或破坏概率矩阵,并将建筑物的破坏状态划分为五类。

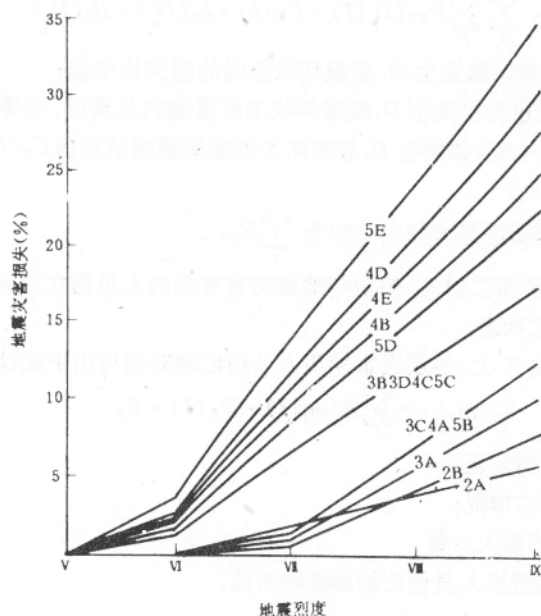


图 1-2 地震灾害平均损失率与烈度的关系
(曲线上的代号见表 1-2)

3. 地震灾害损失计算方法

在上述地震危险性分析和易损性分析基础上,原则上可以计算地震灾害的损失。

(1)地震灾害的平均经济损失。根据定数法地震危险性分析,可以确定某研究场地上,在未来一次地震中将造成的地震烈度。假定已知该地区每一类建筑物的平均破坏率曲线,则可计算出该场地在地震中每类建筑物破坏的平均损失率(%)。

假若我们想知道绝对平均经济损失价值 W ,则可以按下式计算:

$$W = \sum_i R_i \times D_i \quad (1-3)$$

式中, i —— 第 i 类建筑物;

R_i ——第 i 类建筑物重建的费用;

D_i ——第 i 类建筑物对预测烈度的平均破坏率。

(2)地震灾害的期望经济损失。根据地震危险性概率分析结果和建筑物破坏概率矩阵,可以求得地震灾害期望损失。

由式(1-2)可以计算出在 T 年内某研究场地 K 造成烈度 $I(V, VI, VII, VIII, IX, X, \dots)$ 的概率 $P_K(I)$ 。

由适合场地 K 的破坏概率矩阵给出第 S 类建筑物在烈度 I 时发生 D_j 级破坏状态的概率 $P_{KS}(D_j|I)$, 则场地 K 中第 S 类建筑物发生 D_j 级破坏概率为 $P_{KS}(D_j)$:

$$P_{KS}(D_j) = \sum P_{KS}(D_j|I) \cdot P_K(I) \quad (1-4)$$

则在 T 年内场地 K 中,第 S 类建筑物遭受的期望经济损失绝对值为 E_{KS} :

$$E_{KS} = \sum_{D_j} \sum_I P_{KS}(D_j|I) \cdot P_K(I) \cdot b_S(D_j) \cdot B_S(D_j) \quad (1-5)$$

式中, $b_S(D_j)$ ——第 S 类建筑物发生 D_j 级破坏状态时的损失比中值;

$B_S(D_j)$ ——第 S 类建筑物发生 D_j 级破坏状态后重建的总费用。它等于第 S 类建筑的总面积 (A_S) 和发生 D_j 级破坏 S 类建筑重建的造价 $C_S(D_j)$, $B_S(D_j) = A_S \times C_S(D_j)$ 。

K 场地所有建筑物期望的经济损失总和为 $\sum E_{KS}$ 。

(3)地震灾害期望人员伤亡损失。假定与地震灾害有关的人员伤亡只有两种状态, $m_j = 1, 2$, 分别对应受伤和死亡状态。

在 T 年内某研究场地 K 上,地震灾害期望人员伤亡绝对值可由下式计算:

$$R_K(m_j) = \sum_I P(m_j|I) \cdot P_K(I) \cdot B_K \quad (1-6)$$

式中, $m_j = 1$ ——人员受伤情况;

$m_j = 2$ ——人员死亡情况;

B_K ——场地 K 中的总人口数;

R_K ——由地震灾害造成人员伤亡的期望绝对值。

三、未来 50 年四类建筑物地震灾害期望经济损失

编制中国未来 50 年地震灾害损失预测图(1:400 万),属于一般型的损失研究。从较大的尺度上对比不同地区(行政区)在较长时期内面临地震灾害损失的背景和程度,为政府决定是否开展次一级较精细的局部地震灾害损失研究提供依据。

根据上述关于地震灾害损失预测研究的方法,以及在我国地震危险性分析和建筑物、易损性分析的基础上,应用公式(1-4)、(1-5)可以计算出我国城乡各行政单元未来 50 年地震灾害造成四类建筑物[老旧民房(对于农村是指土坯房)、砖结构民房、工业用房和高层钢筋混凝土楼房]损失。计算单元以 1985 年国家颁布的县、市行政区划为准。在我国大陆地区共划分为 2371 个县、市单元,其中 323 个城市、2048 个县。各类建筑物面积取自 1985 年我国第一次城镇普查手工汇总资料^①。四类房屋建筑物的造价取为:老旧民房:120 元/m²;砖结

^① 中华人民共和国城乡建设部,第一次全国城镇房屋普查手工汇总资料汇编,1986.12。

构民房:300 元/m²;工业用房:650 元/m²;高层钢筋混凝土结构楼房:700 元/m²。农村建筑物造价低于上述数字。

图 1-3 至图 1-6 为四类建筑物未来 50 年遭受地震灾害的期望绝对经济损失(人民币值)^①。它们的期望经济损失率(%)空间分布,主要受烈度区划结果的制约,即中国大陆西部的期望经济损失率将远远低于东半部。下面,将按全国和分区的情况讨论绝对期望经济损失。

1. 未来 50 年全国四类建筑物地震灾害期望绝对损失预测

图 1-7 和表 1-3 分别给出未来 50 年全国四类建筑物地震灾害绝对损失(E ,单位:万元)和行政单元数(N)之间的关系。它们表明约有 250 个县、市的住房在地震中的损失达到 3 000 万元以上。

表 1-3 未来 50 年全国四类建筑物绝对经济损失与行政单元数 N 的关系

$\begin{matrix} E \\ N \\ S \end{matrix}$	0	1—300	301—900	901—3 000	3 001—9 000	9 001—40 250
老旧民房	201	1 278	632	236	21	3
多层砖结构民房	163	1 126	506	403	121	25
工业用房	177	1 269	559	301	60	11
钢筋高层楼房	2 337	20	7	6	1	0

根据上述四类建筑物在各个行政单元中拥有的数量,以及重建造价,可以计算出总的损失(表 1-4)。表 1-4 表明,在未来 50 年内因地震造成全国四类建筑物的损失高达 440 亿人民币。在全国 2 371 个县、市的行政单元中,城市占 13.6%,而上述地震灾害损失中,城市占 26%,约为 120 亿人民币。

表 1-4 未来 50 年全国四类建筑物地震灾害损失(万元)

老旧民房	多层砖结构民房	工业用房	钢筋高层楼房
936 199	2 070 122	1 381 878	17 498

2. 未来 50 年东西部城市四类建筑物地震灾害期望绝对损失预测

按东经 107.5°线将我国大陆划分为东、西两半部。表 1-5 给出东、西部城市四类建筑物将遭受的地震损失。由表可知,在未来 50 年内无论哪一类建筑物,东部遭受的损失都要大于西部。总体而言,东、西部城市分布比例为 3.5 : 1;东、西部城市这些类别建筑物地震灾害损失比例约为 3 : 1。

另外,对于我国大陆东部地区而言,华北地区在未来 50 年内四类建筑物的地震灾害损失占东部的 67%左右。对于西部地区而言,南北带地震灾害损失占西部总损失的 86%左右。

^① 按 1985 年货币价值,下同。

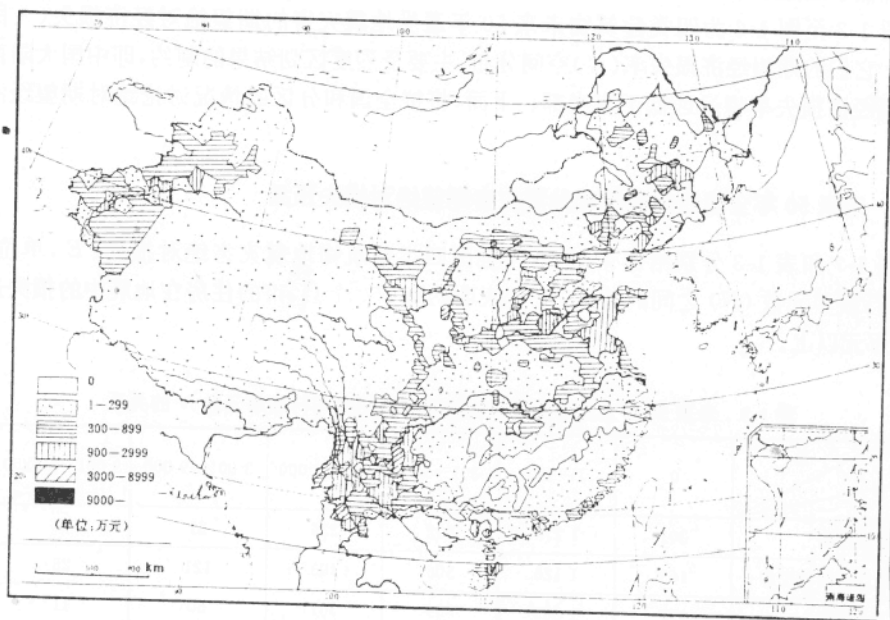


图 1-3 中国未来 50 年地震灾害老旧民房损失预测图

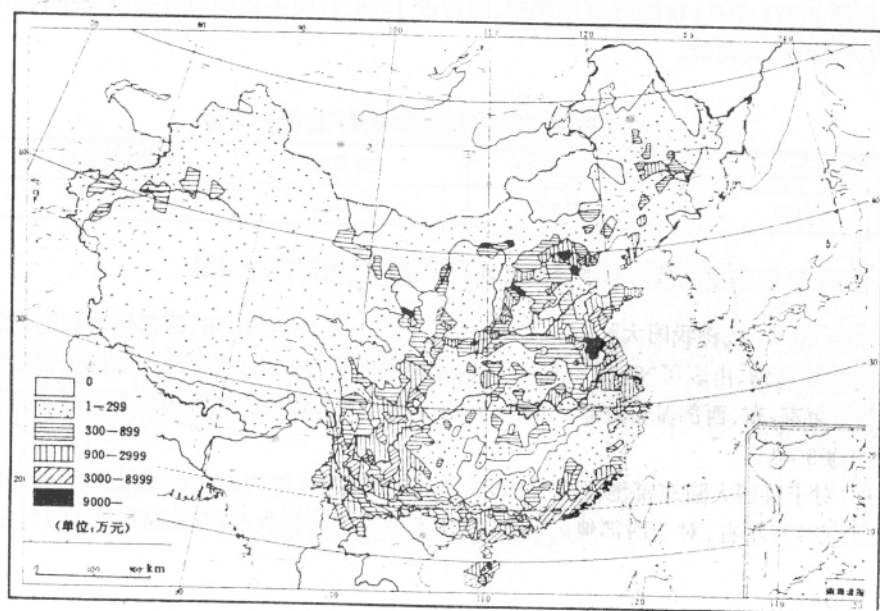


图 1-4 中国未来 50 年地震灾害多层砖结构民房预测图

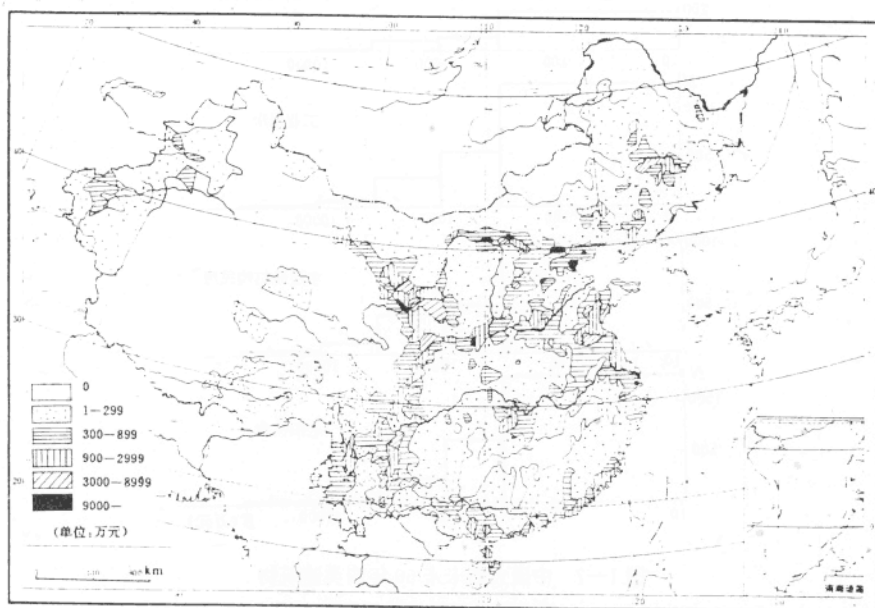


图 1-5 中国未来 50 年地震灾害工业用房损失预测图

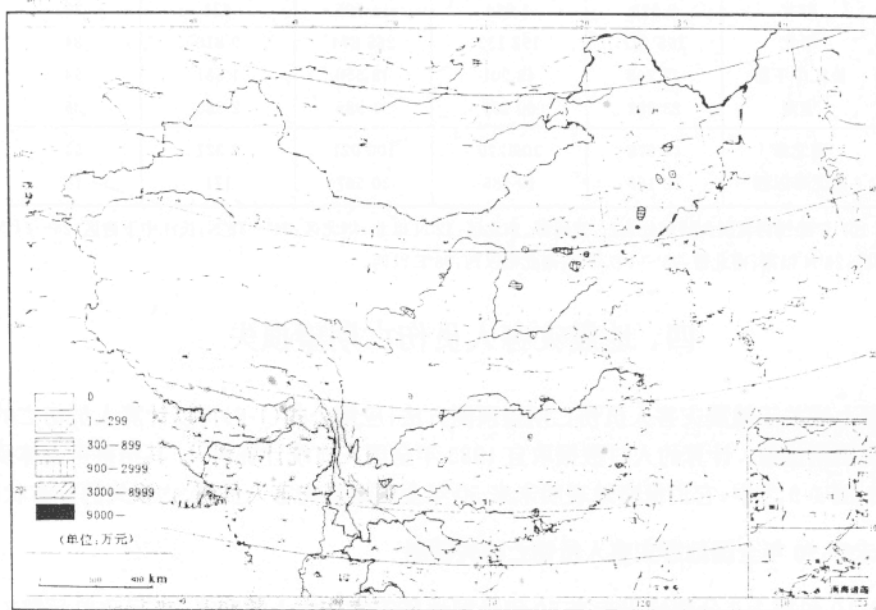


图 1-6 中国未来 50 年地震灾害钢筋高层楼房损失预测图

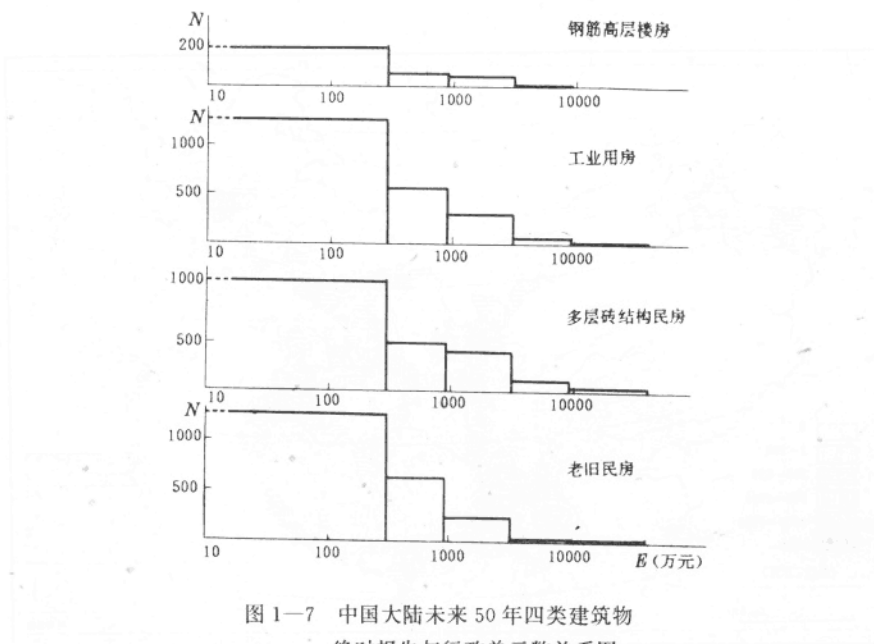


表 1-5 未来 50 年我国大陆城市四类建筑物地震灾害绝对损失(单位:万元)以及城市数对比

地区		老旧民房	多层砖结构民房	工业用房	钢筋高层楼房	城市数(个)
东部	东北	9 573	4 632	14 995	624	37
	华北	105 727	192 133	265 874	9 810	84
	长江中下游	27 768	48 901	48 550	1 581	94
	华南	23 302	60 209	34 935	2 985	36
西部	南北带	45 678	109 279	100 021	2 327	54
	南北带以西	12 189	10 586	20 567	171	18

注:以 107.5°经线将我国大陆划分为东、西两部。东北区:42°N 以北;华北区:34°—42°N;长江中下游区:26—34°N;华南区:26°N 以南;南北带:98°—107.5°E;南北带以西:98°E 以西。

四、地震灾害人员伤亡期望损失

根据上述关于地震灾害人员伤亡期望预测方法,应用公式(1-6)可以计算人员伤亡的绝对损失预测期望值。计算的人口数据取自 1985 年全国人口统计资料^①。其结果可大体反映在图 1-8、图 1-9 之中,它们概略地表明未来 50 年全国地震灾害人员伤亡、亡损失的分布状况。

1. 未来 50 年全国地震灾害人员伤亡损失预测

图 1-10 和表 1-6 分别给出未来 50 年全国地震灾害伤亡人数和县、市行政单元数 (N) 之间的关系。表 1-6 表明,在未来 50 年内大陆上将会有几百个县、市在地震中死伤 100—500

^① 中华人民共和国公安部,中华人民共和国分县、市人口统计资料(1985 年度)。