

# 洛阳城市抗震防灾规划 基础研究

洛阳市抗震办公室



地震出版社



# 洛阳市抗震防灾规划基础研究

洛阳市抗震办公室

主 编 傅兴华

副主编 王 斌 邱 星

地震出版社

1992

(京)新登字095号

## 内 容 提 要

本书是在编制洛阳市城市抗震防灾规划工作基础研究方面的成果总结,是集体工作的结晶。本规划的编制是根据洛阳市的实际情况按照建设部关于城市抗震防灾规划要求中的乙类模式制定的。主要内容有:抗震防灾规划工作大纲、工民建震害预测总论、城市生命线工程震害、地震经济损失及人员伤亡以及各类建筑的震害预测等10章。

本书可供从事城市规划、城建、抗震防灾等有关部门的领导和工作人员参考。

### 洛阳城市抗震防灾规划基础研究

洛阳市抗震办公室

责任编辑: 俸苏华

地震出版社出版发行

北京民族学院南路9号

北京朝阳展望印刷厂印刷

787×1092 1/16 8 印张 201 千字

1992年3月第一版 1992年3月第一次印刷

印数 0001—1150

ISBN 7-5028-0581-8/TU·45

(970) 定价: 6.00元

## 前 言

我国是世界上遭受地震灾害最为严重的国家之一。世界地震史上,死亡人数最多的一次地震发生在中国,即1556年陕西华县8级地震,死83万人。世界近代地震史上,死亡人数最多的一次地震也发生在中国,即1976年唐山7.8级地震,死24万余人,直接经济损失达100多亿元。

我国遭受如此惨重的地震灾害,与我国的地震活动频繁,经济不够发达,房屋与工程设施抗震能力差,缺乏完善的抗震防灾规划等因素有关。因此,根据洛阳市的实际情况,编制洛阳市城市抗震防灾规划,在全市范围内搞好抗震防灾工作,对尽可能地减轻地震灾害与损失,具有特别重要的意义。

根据国务院建设部的文件精神,洛阳市人民政府于1987年12月成立了洛阳市抗震防灾规划领导小组,领导洛阳市抗震防灾规划的编制工作。

技术基础研究,是编制城市抗震防灾规划的重要课题和依据。本书是洛阳市城市抗震防灾规划的基础研究成果。根据国家建设部关于城市抗震防灾规划模式的要求,洛阳按乙类模式编制规划,因此,基础研究未包括地震危险性分析、地震影响小区划等内容,主要侧重于震害预测,其主要内容包括抗震防灾规划工作大纲、各类房屋震害预测及生命线工程震害预测等10个技术专题。

本书以减轻地震灾害为主线,对各类房屋的震害预测、技术分析较充分,全面系统地反映了洛阳市的工作特征,并尽力做到理论联系实际,力求将政策性、社会性、经济性和技术性融为一体,既有实际的震害预测,又有科研理论概括。本书虽然是针对洛阳市的具体情况而编写的,但其抗震防灾的工作方法本身,对全国的城市抗震工作亦具有普遍意义。因此,可供各级政府机构工作人员及从事抗震防灾规划编制、地震工程管理、科研、教学、设计等方面工作的同志阅读和参考。

参加本书编写工作的有傅兴华、倪素芳、孙柯权、阎志其、王斌、龙汉铁、邱星、李柏松、黄日德、许伯炎。全书由傅兴华主编,王斌、邱星为副主编。由于时间与水平所限,本书的编写难免存在不足之处,请读者不吝批评指正。

洛阳市抗震办公室

1990年7月

# 目 录

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| 第一章 洛阳市城市抗震防灾规划工作大纲 .....         | ( 1 )  |
| 第一节 总论 .....                      | ( 1 )  |
| 第二节 地震动小区划 .....                  | ( 3 )  |
| 第三节 场地震害小区划 .....                 | ( 4 )  |
| 第四节 工业与民用建筑震害预测 .....             | ( 4 )  |
| 第五节 生命线工程系统震害预测 .....             | ( 7 )  |
| 第六节 地震损失分析及抗震加固经济分析 .....         | ( 9 )  |
| 第七节 抗震防灾对策 .....                  | ( 13 ) |
| 附录 规划需要的基础资料 .....                | ( 15 ) |
| 第二章 工业与民用建筑震害预测总论 .....           | ( 17 ) |
| 第一节 洛阳市工业与民用建筑震害预测指导思想和主要内容 ..... | ( 17 ) |
| 第二节 洛阳市工业与民用建筑简介 .....            | ( 18 ) |
| 第三节 工业与民用建筑震害预测方法简介 .....         | ( 19 ) |
| 第四节 工业与民用建筑震害预测结果汇总及其评价 .....     | ( 22 ) |
| 第五节 重要建筑震害预测结果及分析 .....           | ( 23 ) |
| 第六节 高层建筑震害预测结果分析 .....            | ( 25 ) |
| 第七节 结语 .....                      | ( 25 ) |
| 参考文献 .....                        | ( 26 ) |
| 第三章 多层砖房震害预测 .....                | ( 27 ) |
| 第一节 洛阳市区多层砖房概况 .....              | ( 27 ) |
| 第二节 震害等级的划分和震害预测方法 .....          | ( 28 ) |
| 第三节 震害预测结果及其分析 .....              | ( 29 ) |
| 第四章 高层建筑震害预测 .....                | ( 33 ) |
| 第一节 洛阳市高层建筑概况 .....               | ( 33 ) |
| 第二节 高层建筑设计特征 .....                | ( 33 ) |
| 第三节 主要高层建筑震害预测 .....              | ( 38 ) |
| 第四节 预测实例 .....                    | ( 42 ) |
| 第五章 影剧院震害预测 .....                 | ( 50 ) |
| 第一节 洛阳市影剧院概况和预测样本选取 .....         | ( 50 ) |
| 第二节 震害预测方法 .....                  | ( 51 ) |
| 第三节 预测结果 .....                    | ( 58 ) |
| 参考文献 .....                        | ( 58 ) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 第六章 钢筋混凝土及砖烟囱震害预测 .....    | (60)  |
| 第一节 烟囱震害标准分类与震害判别标准 .....  | (60)  |
| 第二节 烟囱震害预测方法 .....         | (61)  |
| 第三节 钢筋混凝土及砖烟囱震害预测结果 .....  | (65)  |
| 第七章 单层厂房震害预测 .....         | (67)  |
| 第一节 洛阳市单层厂房概况 .....        | (67)  |
| 第二节 震害预测 .....             | (67)  |
| 第三节 预测结果分析 .....           | (79)  |
| 参考文献 .....                 | (83)  |
| 第八章 平房震害预测 .....           | (84)  |
| 第一节 洛阳市区平房建筑概况 .....       | (84)  |
| 第二节 平房建筑的震害预测 .....        | (85)  |
| 第三节 预测结果分析 .....           | (90)  |
| 参考文献 .....                 | (91)  |
| 第九章 生命线工程震害预测 .....        | (92)  |
| 第一节 供水系统震害预测 .....         | (92)  |
| 第二节 供电系统震害预测 .....         | (100) |
| 第三节 交通系统震害预测 .....         | (105) |
| 第四节 通信系统震害预测 .....         | (109) |
| 第十章 地震经济损失及人员伤亡预测 .....    | (112) |
| 第一节 建筑物的破坏所引起的经济损失预测 ..... | (112) |
| 第二节 生命线工程经济损失预测 .....      | (118) |
| 第三节 地震人员伤亡预测 .....         | (119) |

# 第一章 洛阳市城市抗震防灾规划工作大纲\*

## 第一节 总 论

洛阳市地处中原,位于黄河中游,河南省西部,是豫西重地,居北纬34度30分,东经112度41分,规划面积65平方公里,城市人口68万。洛阳城北依邙山,南傍洛河,西有秦岭潼关之险,东有虎牢黑石之固,自古为中原逐鹿之地。洛阳市区被涧河、瀍河纵贯,自然地划分为涧西、西工、老城和瀍河三大块,加上郊区和吉利共6个行政区。城东有陇海、焦枝两铁路交汇,成为一个东西长(约15公里)南北狭(约3—4公里)的带状城市,现为豫西政治、经济、文化、交通中心。

洛阳是一座历史名城,有全国闻名的古建筑和重点保护文物古迹,是我国七大古都之一,又是具有现代化工业的新兴工业城市。

洛阳市地质构造为新生代盆地,平均海拔150米,地形西北高,东南低,高差约为30—40米。其北部和西部、西南部分别为邙山丘陵和秦岭丘陵,东部和南部为冲积平原。

河南省自公元前1767年至今,有历史记载及仪器记录的地震达六七百次之多,确定为破坏性的地震(震级大于或等于4级)约有30余次,其中6级以上地震5次,最高震级为6.5级。和周围邻省相比较,在地震的强度或频度方面,都居于较弱状态,但地震所造成的破坏是相当严重的。如公元46年的南阳地震和1502年的濮城地震等,震中烈度都曾达到8度。洛阳在历史上也曾发生过破坏性地震,如1646年发生的5级地震,震中烈度达6度。根据我国1977年地震基本烈度区划图,洛阳市为6度区,具备发生5—6级地震的地质构造背景。

从近10年来,我国发生的几次不同强度地震所造成的经济损失的调查统计结果,可以得出粗略的结论:即在现在的条件下,如果地震发生在经济发达、人口稠密的地区,震害损失将以指数规律上升,5—6级、7级、8级左右地震造成的损失将分别达亿元、十亿元、百亿元,并且随着国民经济建设现代化的进展,在重点经济建设区如若发生地震,因地震造成的损失将会成倍增加。1985年墨西哥8级大震,波及距震中400公里的墨西哥城,影响烈度仅为7度,却造成了50亿美元的经济损失。所以,在经济发达、人口稠密的地区,提高抗震防灾能力更为重要。

因此,对于洛阳市这样经济发达、人口稠密的新兴工业城市,一旦发生破坏性地震,就会造成巨大损失,其后果是不堪设想的。

地震预报是减轻地震灾害的重要途径之一,它可以减轻人员伤亡及减弱次生灾害的蔓延。1976年我国唐山地震,使近百年建设的城市毁于一旦,242000余人死亡,直接经济损失达100多亿元。1975年我国海城地震,因为事先有临震预报,死亡仅1300余人,直接经济损失为8亿元。

\* 作者:倪素芳、傅兴华、龙汉铁、王斌、邱星。

经验证明,光有预报还不能充分减轻地震损失,因为即使能十分准确地预报地震发生的时间、地点及大小,人们长期建设起来的建筑物和构筑物以及各种生命线工程仍然无法搬迁,难免受到地震的浩劫。由此,客观实际促使产生了结构抗震科学。国外有这样一个例子:南美智利的康塞普逊城,在1939年曾发生过一次毁灭性地震,造成4万人死亡。1960年5月21日又在该地发生大地震,但损失却不严重,只有500人死亡。凡是在前次震后重建的房屋都没有受到很大损失。更值得指出的是,在离康塞普逊城20公里处有一现代化炼钢厂,由于建造时考虑了正确的设防,采取了有效措施,因而在1960年地震时损失非常轻微,震后5天便恢复了生产。智利康塞普逊城在前后两次地震中,地震损失有这样大的差别,就是因为该城在第一次地震后制定了新的建筑规范,采取了抗震措施。这充分说明了地震是可以防御的。地震的损失也是可以人为地减轻的。

近代研究表明,提高一个城市的整体抗震能力,制定抗震防灾规划,建立抗震防灾体系,是减轻城市地震灾害的最有效办法。

综上所述,洛阳市这样的城市,加之大型工程和重要市政建设项目正在大规模建设,如果不考虑抗震设防,那么今天的新工程就将成为明天的抗震加固对象,并且加固费用要比设计时就考虑抗震设防的费用高得多,甚至要付出更高的代价。因此对洛阳市来说,搞好抗震防灾规划是十分必要的。

地震造成的破坏是多样的。根据世界上破坏性地震的调查结果,地震破坏大致可归纳为三类:地面破坏、地基失效及建筑物毁坏。地面破坏包括地面断裂、滑坡和崩塌。当断裂穿过建筑物的地基、地下构筑物、地下管线时,就会造成严重破坏。这类破坏威胁着恰巧位于断裂带上的结构物,其破坏后果是局部的。即使对于大地震,这种破坏和其他破坏相比也是局部的。但对于重大工程,例如核电站、大型热电站、大坝工程等在场址选择时,必须避开发展断裂。即使不是发展断裂,也要判明可能位移的性质及位移的可能大小,分析位移将给工程带来的影响。一般的解决办法,是根据已掌握的地质构造和活动断裂资料加以判断,用地面断裂预测的方法划分出可能出现的断裂带,最好避开这一危险带进行建设。在必要时做进一步勘察,但应顾及勘察费用和取得的经济效益。

滑坡和崩塌都有巨大的破坏力,大片不稳定斜坡的滑塌及其引起的泥石流是难以抗御的,至今还找不到工程抗御措施。不过这种灾害仅在特殊的地质和地形条件下才会形成。其预防的方法,仍然是通过对滑坡和崩塌预测,划分出可能滑坡的地区及其影响范围,尽量避开这一区域进行建设。

地基的失效,是由于地震的作用,地基发生沉陷、滑移、液化或发生永久性残余变形等而丧失承载能力的现象。地基失效对于那些对地基敏感的建筑物如:土坝、公路、铁路、桥梁、高架公路,以及在软土地基基础上的长、大建筑物的破坏最大。地基失效总是发生在特殊的场地,并可用地基失效预测方法划分出可能发生液化、沉陷等地基失效的区域范围。在选择建筑物场址时,最好避开地基容易失效的地段;如果非建不可,应该采取有效的地基处理方法,以减轻地震时地基失效引起的震害。

在破坏性地震中,建筑物的破坏和倒塌是造成大量生命财产损失的最主要原因。而建筑物损坏的主要因素是地面的强烈震动,以及由此而引起的软弱地基的地基失效。因此,减轻地震灾害的主要途径,是合理地进行建筑物的震害预测,进行抗震设防,采取适当的抗震或减震措施,以及对已有建筑根据需要进行抗震加固。

由地震造成的次生灾害,如火灾、水灾、爆炸、毒气蔓延、放射性辐射等灾害也是屡见不鲜的。其预防手段是根据次生灾害源,灾害形态、规模及危害程度的不同,分别采取对口预防措施。

由此可以看出,较为可靠地估计一个地区在今后一定时期内,可能遭受到的地震动是做好抗震防灾的前提。通常把估计一个地区的地震动叫作地震动参数的估计,把估计地震动在某一区域上的空间分布称为地震动小区划。在已知可能遇到的地震动的情况下,对地面破坏、地基失效、建筑物破坏所进行的合理预测,称作场地地震害小区划和建筑结构的震害预测。在各种震害的基础上进行地震损失分析,最后制定出最佳的抗震防灾决策,建立防灾救灾体系,制定震后抢修方案及迅速恢复生活和生产秩序的对策,是抗震防灾规划的主要内容。

综上所述,洛阳市是河南省西部的经济、政治、文化中心,人口密集,又是一个古老的城市,旧房、危房很多;原有工业建筑物基本上都没考虑抗震设防,是一座抗震能力很低的城市;市内易燃、易爆物品等有发生次生灾害的隐患。抓紧做好洛阳市抗震防灾规划是十分必要的。

洛阳市城市抗震防灾规划应包括如下内容:(1)地震动小区划;(2)场地地震害小区划;(3)工业与民用建筑震害预测;(4)生命线工程震害预测;(5)地震损失分析及抗震加固经济分析;(6)抗震防灾对策。

## 第二节 地震动小区划

地震动小区划的目的,是估计某一区域内可能遭遇到的地震动分布。这里指的地震动的分布是加速度、速度、位移峰值,加速度反应谱及加速度持续时间等五个量在不同场地的分布,它表达了地震动在不同场地条件下的变动,可为市区的工程建设、土地利用、震害预测和制定减轻地震灾害计划提供地震动方面的基础资料。地震动小区划是在地震区内进行城市规划和建设必须完成的一项任务。

减轻地震灾害的第一步,是确定有发生破坏性地震危险的地方及其危险的程度,以便采取适当的防御措施。我国把国土划分为地震危险程度不同的若干地区,并把其结果用地图的形式表示出来,在不同的地区制定不同的设防标准,这就是地震区划。1977年编制完成的地震区划图,是用基本烈度表示地震的危险程度,在1:300万比例尺的地图上,把全国划分为基本烈度不同的6类地区。这种小比例尺的区划图,只能提供“一定地区在今后一定时期内,在一般场地条件下可能遭遇的地震烈度”,即基本烈度,而不能用于预测地震动在小范围内的变动。为了显示地震动小范围内的变动情况,往往采用1:1万或1:5万比例尺的区划图,这种图称为地震动小区划图。其中用于抗震设计或震害预测的小区划图,称为设计地震动小区划图。

根据洛阳市资金极为有限的实际情况,以满足洛阳市抗震防灾规划的基本要求为原则,洛阳市地震动小区划可采用如下的方法进行。

(1)对洛阳市近区已有的重大工程项目的地震危险性分析的结果进行修正,给出市区基岩处设计地震动。

对洛阳市近区小浪底××工程场址地震危险性分析,对区域地震地质背景、区域地震活动性、衰减规律等特性都进行了较为详细的研究,可以借用或者修正这些结果,得出洛阳市

城区基岩处设计地震动。

(2) 进行场地分类和场地地震反应谱分析。首先收集、整理、分析洛阳市区的地形、地貌、钻孔地质、地下水埋深及工程地质等资料,然后根据《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)关于按覆盖层厚度和剪切波速进行场地分类的规定,对洛阳市规划区进行场地划分,作出场地分区图。

在场地划分的基础上,分别在不同的场地中取几个场址,进行地震反应谱分析(包括人造地震波生成,选定场址土层模型和反应谱计算),分别得到不同场地的设计反应谱,作出较大比例尺的地震动小区划图。该小区划图将给出不同分区的加速度峰值和加速度反应谱。

此项工作需要地震部门有关技术人员参加。

### 第三节 场地震害小区划

场地震害,通常是指在地震荷载下,因场地地基土失效,如强度降低或产生过大塑性变形等,致使土构筑物、场地地基等造成的破坏。

造成场地震害的主要原因有两个:砂土液化和软土震陷。场地震害的主要表现形式是:喷水冒砂,地裂缝,土体滑塌,地基下沉和倾斜等。场地一旦出现破坏,则很难恢复原状,而且不能依靠加强上部结构来抵御这种破坏。但实践证明,曾做过场地震害预测和采取抗震措施的建筑物,能避免或减轻在场地震害中造成的破坏。国内外在这方面的工作也是刚刚起步,没有完整的例子,对液化震害多半只进行小区划工作,个别的作了定性的震害预测。对于软土震害小区划和震陷预测,只有少数人在进行研究工作。

场地震害小区划和震害预测目的,是划分出可能产生液化和震害的区域,预测可能造成的震害并提出相应的对策,为制定城市抗震防灾规划和重大工程的选址提供依据。

洛阳市场地震害小区划可包括如下的内容:

- (1) 软土震陷小区划及震害预测。
- (2) 砂土液化小区划及震害预测。
- (3) 涧河及瀍河两岸土体滑塌震害预测。

为完成这些任务,必须进行下述工作或广泛收集可以满足要求的有关工程地质资料:

(1) 工程地质勘探。在收集、分析工程地质已有资料的基础上,有针对性的在洛阳市区补做若干工程地质勘探工作。把个别饱和砂土层地段,以及软土层地段(区)划分出来,为下一步研究打好基础。

(2) 室内外土壤静、动力学实验。其结果可为液化判断、滑坡评价提供必要的数据库。

该项工作应该联合勘测设计、市政设计、地震等有关部门的技术人员参加,提交震陷小区划图及其说明,液化小区划图及其说明和滑坡区段分布图及其说明。

### 第四节 工业与民用建筑震害预测

洛阳市区现有各类建筑面积约为2400万平方米。多数建筑没有抗震设防。虽然已加固了一些房屋,提高了房屋抗震能力。但是不利抗震的因素依然存在,不易在短期内彻底消除,例如人口密集、危房拥挤、城市住宅分布不合理等等。在未来地震袭击中,可能造成较大灾害。

在全市房屋中,钢结构成分占1.6%;钢混结构占7.9%;以上两种结构主要为厂房、仓库等。砖混结构成分占56%;砖木结构占29.6%;其他结构占4.9%;这三种结构主要为住宅。

在全市多层砖房中,砖混结构占57.7%;砖木结构占28.6%;其他结构占13.7%。

随着大批工业厂房的建设,工业构筑物也随之兴起,大量的烟囱、水塔、工业栈桥、贮油罐等,也是震害预测的重要内容。

总之,洛阳市的工业与民用建筑物和构筑物,具有结构类型多,房屋数量大,分布面积广等特点,应根据建筑物的特点,按照不同的结构类型采取各自适宜的震害预测方法。

## 一、指导思想和主要内容

在地震危险性分析和场地区划给出的地震动参数估计的基础上,开展各类建筑物及构筑物的震害预测工作。

(1) 洛阳市震害预测以涧西、西工区为主,兼顾其他城区。

(2) 洛阳市震害预测研究拟采取点面结合以面为主,群体研究和单体研究相结合以群体研究为主,现场调查研究和计算分析与试验研究相结合以现场调查研究为主,以及分区、分项研究和总体综合研究相结合以总体综合研究为主等开展工作。

(3) 震害预测方法拟针对洛阳市建筑物与构筑物的特点,按不同结构类型采用各自适宜的预测方法,给出不同烈度的不同震害百分比,然后,考虑场地特征及地震动强弱的影响,综合给出不同基准时期,不同概率水平的全市区震害分布和预测总报告。

(4) 建筑物与构筑物震害预测应包括:

① 房屋抗震性能特点的综合调查(包括收集现有建筑物和构筑物普查资料、设计施工及震害资料,调查现有建筑质量及加固效果)。

② 现有房屋分类(按结构类型、功能要求分类)。

③ 各类房屋要求抗震性能的抽样调查(包括典型房屋的自振特性的测量和承载构件强度检验等)。

④ 各类房屋总体震害估计(包括工业建筑、民用建筑以及公用建筑)。

⑤ 重要建筑震害预测,包括市府指挥机构建筑物的震害预测;公安、消防建筑物的震害预测;可能发生严重影响环境(易爆、易燃、有毒品等)建筑物的震害预测;医疗机构建筑物的震害预测;对国民经济有重大影响的工厂建筑物和构筑物的震害预测。

上述对重点或要害工程,需逐幢、逐项进行抗震性能分析,提出可能的震害和减灾措施。

⑥ 地震损失的估计:根据各类建筑估计的震害,确定在某一烈度时由于建筑物或构筑物破坏造成的经济损失和由于停产减产造成的直接损失和间接损失值及年平均损失期望值。

⑦ 减轻地震灾害和加固措施的建议。

## 二、震害预测方法

对几种量大面广的主要结构类型拟采用的预测方法简介如下。

### 1. 多层砖房的震害预测

多层砖房(包括砖混、砖木和混凝土砌块等)占全市总建筑数量的60%以上,震害经验表明这种结构抗震能力主要取决于墙体的抗剪强度,因此以折算楼层单位面积的平均抗剪强度做

为多层砖房抗震能力的指标。最后，还需考虑其他影响因素进行二次判别。如抗震墙间距、建筑体型、施工质量等。这些影响常常由经验判断，对震害指数值进行修正，然后用修正后的震害指数值判断震害程度。

## 2. 单层工业厂房震害预测

钢筋混凝土排架在工业厂房中所占比例甚大，其震害预测方法是，首先把这类厂房的震害分三部分，分别进行评定，即抗侧力系统（如排架）的震害；围护结构（如围护墙）的震害；屋面系统的震害。这三部分结构和整个厂房的震害均分为5个等级，即基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏。用这种震害划分方法时先根据构件的破坏分类和定义分别评定抗侧力系统、围护墙和屋面系统的震害等级。由于这三部分在结构中起的作用，抗御地震的能力和破坏后修复的难易程度的不同，厂房的震害等级应按这三部分加权评定。为此必须将震害等级数量化，赋予震害等级的数值称为震害指数。厂房震害指数由下式确定：

$$D_s = 0.45D_r + 0.3D_w + 0.25D_{rs} \quad (1-1)$$

式中  $D_s$ ——厂房的震害指数； $D_r$ ——排架的震害指数； $D_w$ ——围护墙的震害指数； $D_{rs}$ ——屋面系统的震害指数。式（1-1）中影响震害等级的三项参数系根据海城和山唐地震中大量厂房震害实例总结而得。

## 3. 砖柱单层厂房的震害预测

砖柱单层厂房的震害预测采用结构动力反应与震害关系的模糊判别方法。并以唐山地震中搜集到的18座砖排架震例为原始资料作为预测震害的依据。该方法首先确定结构地震反应的力学指标和震害研究范围，然后再寻求力学指标与震害的模糊关系矩阵，再用模糊推理原理，根据砖排架的地震反应推算震害

$$A = X \circ R \quad (1-2)$$

式中  $\circ$  表示一种模糊推理或模糊运算； $X$ ——排架的地震反应（即考虑空间作用的排架最大位移）； $R$ ——模糊关系的矩阵。

$A$  的隶属函数定义为

$$\mu_A(y_k) = \max[\min(\mu_x(x_i), \mu_R(x_i, y_k))],$$

$$1 \leq i \leq x$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, 11$$

利用  $A$  和标准震害描述作贴近类比，即可确定震害等级。

## 4. 框架结构房屋的震害预测

洛阳市框架建筑的震害预测，采用理论计算方法。从结构中选取最不利框架，采取洛阳市地震危险性分析结果所得出的地震反应谱曲线，用SAP5程序进行地震反应计算，求出各杆件断面的弯矩、剪力、轴向力，然后再根据钢筋混凝土结构理论选取考虑地震力大小、断面尺寸及配筋等诸多因素，预测结果分安全和不安全两类。结论安全者，说明在洛阳市遭遇相当于基本烈度的地震时，框架每一杆件断面所配置的钢筋满足要求，主体结构完好；结论不安全者说明框架中有的断面配筋不完全满足要求，有的杆件会产生裂缝。

## 5. 平房建筑的震害预测

平房是洛阳市民用建筑的重要组成部分，它占有很大的比例。平房震害预测采用的是模糊综合评判方法，该方法根据调查资料，首先找出导致房屋破坏的主要因素（震害因子），并用统计数字表示隶属函数，然后寻求这些因素与震害之间的关系，建立评判矩阵，并根据不

同因素在评判中所起的作用,拟定相应的权重,最后进行模糊矩阵运算得到预测结果。

## 6. 烟囱、水塔震害预测

在构筑物中,烟囱、水塔的数量相当大,研究这类构筑物的抗震能力是以我国多次破坏性地震如唐山、海城等强烈地震中大量震害资料和烟囱的震害特征作为依据,并结合抗震规范的精神,计算各个构筑物在各种烈度下的动力反应,通过统计分析和类比,把“理论”计算与震害“经验”两种方法结合起来,以确定某一结构在各烈度下的抗震能力。

将各烈度震害资料统计之后,建立了地震烈度与结构破坏程度之间的关系,其震害预测具体步骤如下:

(1) 进行现场结构及场地环境的调查,包括设计、施工图、动力计算有关参数及进行二次判别的各种影响因素。

(2) 进行烟囱、水塔地震反应计算分析,输入某一烈度地震加速度计算反应。采用反应谱振型分解法,计算水平地震反应,并考虑竖向地震反应,最后将两者叠加。

(3) 将理论计算的最大应力与容许应力之比与 $A_c$ 比较,大于 $A_c$ 则认为是破坏( $A_c$ 值是反映构筑物的破坏程度的指数,它的建立来源于大量震害资料的统计分析),即计算所得最大应力值与类似的震害烟囱的震害程度进行比较和综合分析,找出烟囱、水塔在不同烈度下的破坏情况的第一次判别标准。

(4) 考虑预测构筑物不利和有利因素,再进行二次判别。最后对建筑物不同烈度下的破坏程度作出预测。

该项工作应该提交工业与民用建筑震害预测报告、各类建筑物震害分布图以及提出抗震加固措施和建议。

该项工作需要得到洛阳市下列单位的配合:市区各大厂、市有关委局、各设计院、有关建筑施工单位等。

## 第五节 生命线工程系统震害预测

生命线工程系统包括相当广的工程范围。它包括和国民经济建设及人民生命财产休戚相关的一些工程系统、设施等等。诸如城市的交通系统、通讯系统、供电系统、供水系统、供气系统等,这些系统包括多种多样的建筑物如桥梁、道路、水坝、水工建筑物、地上建筑物、地下管道、地上管道等等,还包括容易引起次生灾害的工程设施,如放射性污染源、有毒设施、易燃易爆设施等。多次大地震震害表明:生命线工程系统的破坏给城市带来的直接、间接损失是十分严重的。如1976年唐山地震,由于供电、供水、通讯、交通系统的破坏给整个唐山市的震时救灾、震后恢复带来极大的困难。为了提高整个城市的抗震能力,首要环节是确保生命线工程系统在中等地震作用下能继续发挥效能,在罕见的大地震作用下,虽有破坏,但经短暂修复即可发挥效能,为城市的震时救灾和震后恢复提供交通、通讯、供水、供电、供气等支持系统。

目前,国内外还没有通用的一套方法用于生命线工程的震害预测。根据我国地震工程学科的发展水平,结合各大、中城市生命线工程的实际情况,建议采用如下的方法:

(1) 合理选择地震动输入参数。对进行地震危险性分析和地震动小区划工作,要求给出位移、速度、加速度幅值、加速度反应谱小区划以及相应的地震动时程。对重要结构进行较

为详细的震害预测时，要采取地震动参数的上限值。

(2) 要求场地震害小区划工作，能对生命线工程重要设施以及网络沿线所经过的场地震害给予评价。生命线工程震害预测应该借用这些结果。

(3) 生命线工程现有状况调查是震害预测的首要一环，应该对各部件的强度、变形能力作出评定。

(4) 用确定性或非确定性概率方法分析各部件的抗震能力。

(5) 用系统分析的方法评定生命线工程各个系统的抗震能力，并提出抗震规划措施。

洛阳市生命线工程震害预测内容概括如下：

### 1. 交通系统的震害预测

由航空、铁路、公路组成立体交通系统。航空系统震害预测的重点是洛阳机场的重要设施。确保震时机场的安全，对震时救灾十分必要。铁路、公路系统震害预测的关键环节是沿线桥梁震害预测。铁路、公路路基相对桥梁来说比较安全，一旦发生局部震陷，也易修复。工作重点突出主干线上的桥梁震害预测，并用系统分析的方法评价主干线的可靠性，提出对主干线的抗震防灾措施。工作内容包括：

(1) 调查、收集、整理、分析主要干线桥梁的设计、施工、维修资料。

(2) 调查、收集桥梁地基基础资料，并判断墩、台基础滑移、液化、沉陷的可能性。

(3) 对各桥梁单体的墩、台、梁、支座等重要部件的现有强度进行非破损检测。

(4) 对各桥梁单位的墩、台、梁、支座等重要部件进行抗震强度校核。

(5) 考虑到桥梁静、动荷载的组合，对各桥梁的震害给予综合评价。

(6) 用系统分析方法，评价主干线的地震可靠性，并识别出最薄弱的环节。

(7) 对公路系统主干线提出抗震防灾措施。

(8) 对铁路系统主干线提出抗震防灾措施。

该项工作提交公路系统主干线、铁路系统主干线的震害预测报告、震害预测分布图及提出抗震防灾措施。

该项工作在调查、收集、整理资料方面以及提出抗震措施方面需要洛阳市有关部门的技术人员配合。

### 2. 供水系统的震害预测

建议选取主要供水干线进行震害预测。工作内容包括：

(1) 调查、收集、整理、分析水源地、水源井、供水主干路的设计、施工、维修、运行等资料。

(2) 调查、检测管路系统的锈蚀、现有强度、运行状况。

(3) 供水系统建筑物现有强度无破损检测。

(4) 管路沿线场地震害预测。

(5) 管路以及其联接部位的抗震校核。

(6) 管路工作应力(静、动应力，温度应力)计算以及和地震应力组合。

(7) 供水系统建筑物震害预测。

(8) 用系统分析方法，分析主干线系统的可靠性并识别最危险部位。

(9) 对主干线提出抗震防灾措施。

该项工作应提交供水系统震害报告、震害部位分布图和提出抗震防灾措施。

该项工作在调查、收集资料阶段以及研究抗震措施阶段需要洛阳市供水系统技术人员配合专业技术队伍共同工作。

### **3. 供电系统的震害预测**

供电系统主要包括发电厂、变电所、配电变压器、供电线网。震害预测的重点应该突出发电厂，并且选择一条或几条主干线进行工作。在资金少，人力不足的条件下，可以分批进行。工作内容包括：

- (1) 调查、收集、整理、分析发电厂主要建筑物的设计、施工、维修等资料。
- (2) 用非破损检测方法对电厂建筑物现有强度、变形能力进行检测。
- (3) 对电厂建筑物进行抗震校核。
- (4) 对电厂重要设施及其基础进行调查，并进行抗震校核。
- (5) 对电厂变压器、油压开关、控制系统的抗震能力进行鉴定。
- (6) 鉴定供电网路的抗震能力。

该项工作应提交供电系统的震害预测报告及提出抗震防灾措施。在调查资料和研究抗震措施阶段需要洛阳市供电系统技术人员配合专业技术人员进行共同工作。

### **4. 通讯系统的震害预测**

通讯系统主要包括通讯站、电话枢纽，及其通讯网络。震害预测的重点应该放在通讯站、电话枢纽的建筑物和重点设备上。通讯线路的震害一般比较轻，也较易修复。工作内容包括：

- (1) 调查、收集、整理、分析通讯系统包括的建筑物、构筑物的设计、施工、维修等方面的资料。
- (2) 调查、收集、整理通讯系统重要设备的抗震能力方面的资料。
- (3) 检测建筑物、构筑物的现有强度及变形能力。
- (4) 对建筑物、构筑物进行抗震能力校核。
- (5) 对重点设备进行抗震能力评价。
- (6) 对通讯系统提出震害预测估计及抗震防灾措施。

该项工作应该提交通讯系统震害预测报告及提出抗震防灾措施。该项工作需要洛阳市通讯系统和建筑系统有关技术人员的配合。

### **5. 易燃、易爆等设施的震害预测**

洛阳是工业城市，易燃、易爆设施较多，互相混杂。一旦破坏，严重威胁城市和人民的生命财产安全。由于设施各异，很难提出一套通用方法。这些单位的抗震防灾规划最好由各个单位自己负责或者聘请、委托专业技术人员共同完成。

## **第六节 地震损失分析及抗震加固经济分析**

随着科学技术的发展，抗震防灾已经从单体建筑推进到群体建筑，从小面积扩大到大区域，如今已经是以一个县城、一个城市、甚至一个经济建设区为单位来进行抗震防灾。抗震防灾工作已经成为一种社会公益事业。所以从经济角度来估计一次地震所带来的损失，用科学预测的方法，对建立抗震防灾体系所消耗的人力、物力和财力做详细的定量分析，使社会公众对整个社会推进抗震防灾和救灾准备工作的投入和产出有充分的了解是十分必要的。随

着国民经济的发展,通过经济分析,确定建筑物的设防标准是地震区建设,特别是重大工程建设可行性研究中一项不可缺少的工作。也是已有结构抗震加固经济决策的主要依据。

洛阳市抗震防灾规划完成后将向市政府领导提供下列经济数据:

- (1) 在地震危险性分析的基础上估算洛阳市可能遭到的地震烈度下将会有多大损失。
- (2) 实施抗震防灾规划以后预估能减轻多少地震损失。
- (3) 估计开展和实施抗震防灾规划的经济效益,提出投入和产出之比。
- (4) 对典型地区或工矿企业的现有不抗震的建筑,在有限的经费下提出抗震加固的决策依据。规划加固次序和实施方案。
- (5) 对量大面广的建筑提出抗震设防的经济分析,提出最佳设防标准。

## 一、地震经济损失函数

地震的直接损失主要表现在建筑物和构筑物的破坏倒塌,而建筑物的破坏和倒塌又直接与工程结构的特征和由震源传到工程结构基础底下的地面运动特征有关。地面运动特征与震中距及地震波传播过程中所经过的岩体特性和工程结构所在地的地质构造效应及当地场地土及地基有关。地面运动特征,主要表现在振幅大小、主震频段、持续时间三个方面。结构工程特征反映在建筑材料、施工质量、结构型式、设防标准、分布状况和数量。在分析地震经济损失时,除了考虑地震的直接损失外,还应该考虑由于公共设施丧失功能,引起社会秩序混乱而使社会经济体系各部门之间失去互相依存性,使社会经济活动迟缓或中断而造成的停产减产损失和一个车间破坏的停产而引起另外一个车间的减产甚至停产所造成的损失,这种损失一般称为间接损失。此外,地震时人员伤亡也应该用经济指标来衡量,这是一个需要专门研究的课题。

一般情况下,烈度为 $i$ 时的地震经济损失,可用下列函数形式表示

$$V_i = \phi\{P_i, L, D_i, M, E\}.$$

其中: $P_i$ ——发生烈度为 $i$ 的地震的概率; $L$ ——不同破坏程度的损失率; $D_i$ ——发生烈度为 $i$ 的地震时,工程结构、建筑物或构筑物的震害率; $M$ ——工程结构或建筑物、构筑物的数量; $E$ ——各种经济指标,如工程结构的造价、企业日产值等。

## 二、与工程结构有关的经济损失

与工程结构有关的经济损失可分两大类,第一类是建筑物和构筑物本身破坏或倒塌所引起的经济损失,第二类是生命线工程的地震损失。

### 1. 第一类经济损失

地震时结构物本身由于破坏或倒塌,需要修复或重建要花费一定量的资金以外,尚需计算由于结构本身损坏而引起的室内资产的损失和企业直接停产所引起的损失,详见表1-1。

地震烈度为 $i$ 时,第一类地震损失 $V_{1i}$ 可用下式估算:

$$V_{1i} = \sum_i V(i)_{1i}.$$

它是各类建筑物由于烈度为 $i$ 的地震所引起的损失之和, $i$ 为建筑物的类型,根据我国现状,建筑物的类型大致可划分为:多层砖房、钢筋混凝土结构、混合结构、单层工业厂房、城镇砖房。常见构筑物的类型有:烟囱、水塔。

表1-1 第一类经济损失统计内容

| 序 号 | 项 目             |      |
|-----|-----------------|------|
| 1   | 建筑物破坏受到的损失      |      |
| 2   | 室内财产损失          | 民 居  |
|     |                 | 工业企业 |
|     |                 | 其 他  |
| 3   | 建筑物破坏而引起的建筑物的损失 |      |
| 4   | 企业停产直接损失        |      |

针对洛阳市的建筑,可以根据上述分类,分门归类。所选用的震害预测方法相同的建筑,虽构造和采用的建筑材料不一,也可归到同一类型

## 2. 第二类经济损失

第二类损失是生命线工程的地震损失,包括供水、排水、供电、供气、排气、交通、通讯设施等。这类损失应用比较复杂的网络分析方法进行,但需有各种详细数据和资料,在编制洛阳市抗震防灾规划时,对于数量很大的生命线工程,建议采用一种近似的估算方法。

地震烈度为 $i$ 时,第二类地震损失可用下式估算:

$$V_{2j} = \sum_i V(i)_{2j}.$$

其中 $i$ 为生命线工程的类型,如供水管、供电线路、供气管、高速公路、铁路、电话线路等。

$$V(i)_{2j} = \sum_r V(i)_{2jr}.$$

其中 $r$ 为第 $i$ 类生命线中由于材料或构造不同的分类。如第 $i$ 类生命线为供水管,则水管有铸铁管、水泥管、软铁管、塑料管和铜管等。管子的接头则有承插口式、密封橡胶圈式、铅封、水泥砂浆封、管接头等, $r$ 即为按材料及接头区分的序列指标。

## 三、工业企业停产减产的间接损失

我们用 $V_3$ 来表示地震发生后由于某些经济部门停产,减产而导致其他有关部门生产减少的损失,并称它为间接经济损失。一般说来,城市在地震后的经济损失大于直接损失。为了计算由于一个部门停产减产而导致其他部门产量的减少,必须先建立各经济部门生产中内在联系的数学模式,即投入产出的经济数学模型,这可用下列两个关系式来描述

$$(J - A)X = Y,$$

$$X = (J - A)^{-1}Y.$$

式中 $J = (\delta_{ij})$ ,  $\delta_{ij} = 1$ ;  $A$ ——直接消耗系数矩阵;  $X$ ——各部门总产量向量;  $Y$ ——最终产品向量。

如果已知直接消耗系数矩阵和最终产品向量,便可算出各部门产品的总产量。但是在城市各部门之间,关系比较复杂,一个部门最终产品的减少,一方面使其他部门的产品相应减