

中国地震烈度区划图

(1990) 概论

国家地震局

(1990)



地震出版社

中国地质构造区划图

(1990) 版论

.....

(1990)

.....

中国地震烈度区划图(1990)概论

国家地震局

地震出版社

1996

内 容 提 要

本书阐述了新编中国地震烈度区划图(1990)的各个方面,包括地震区划内容的沿革、编图的原则和方法、中国地震活动特征、地震构造环境、地震区带与潜在震源区划分、确定地震活动性参数、建立区域地震烈度衰减关系、地震危险性与参数敏感性分析、地震区划图及应用前景等诸方面。书中全面反映了新编中国地震烈度区划图的技术思路及其编制方法,特别是对国际通用的地震危险性分析方法进行了许多重要的改进,反映了我国大陆板内地震活动特点和我国多年来地震预测方面的科研成果。

本书是从事地震烈度区划、工程地震、震害防御等方面的科研与教学人员必备的参考书。

中国地震烈度区划图(1990)概论

国家地震局

责任编辑:何寿欢

责任校对:王花芝

*

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路9号

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 11.5印张 295千字

1996年3月第一版 1996年3月第一次印刷

印数 0001—1000

ISBN 7-5028-1192-3/P·728

(1627) 定价:20.00元

前 言

我国是一个多地震的国家，又是世界上遭受地震灾害最严重的国家之一。为了最大限度地减轻地震灾害，减少经济建设和人民生命财产的损失，就必须把地震预测、工程地震和抗震设防工作结合起来。其中，编制地震区划图是一重要的中心环节。地震区划图是为了贯彻地震工作以预防为主方针，以现有资料为基础，据当前的科学技术水平和国家的抗震设防需要，按当地可能的地震危险程度对国土进行划分，以展示地区间潜在地震危险性的差异。地震烈度区划图是国土资源合理利用与开发，环境保护与根治，重大工程设施的布局与发展规划，国家建设的投向等方面工作的依据，对中、长期地震预报也有积极的意义。

当前，国际上大致有三类地震区划图：第一类以戈尔什科夫编制的苏联区划图为代表，它是以宏观烈度为区划标志，根据历史地震和地震地质资料编制的；第二类是以河角广编制的日本区划图为代表，它是以历史地震为依据，考虑地震发生频率，并用地面加速度峰值等值线形式绘制的；第三类以科内尔提出的地震危险性分析方法，以阿尔杰米森和珀金斯编制的美国地震区划图为代表。

我国从30年代开始地震区划工作，至今已有50余年的历史。中华人民共和国成立后，曾两次编制过全国性的地震区划图。

第一次是著名地震学家李善邦主持下于1956年完成的。这张图基本上是以历史地震重演和构造类比两条原则为基础而编制的。即对一定地点而言，过去遭受过的最大地震烈度亦为今后可能遭受的最大烈度，相同地质条件的地区可能有相同的地震活动性。该区划图的缺点是对大地震重复的时间概念不明确，致使划定的地震高烈度区面积过大，而未能工程界接受使用。

第二次地震烈度区划图的编制，是由国家地震局组成的编图小组于1977年完成的。这张图基于长期地震预报的概念，明确提出区划图上表示的地震烈度是指未来一百年内平均土质条件下，可能遭遇的最大地震烈度。这一地震烈度区划图的特点，是具有时间概念，而缺点是它把本来不确定的结果，用确定的形式表达。它代表了我国70年代地震区划的水平和工作程度。

近十余年来，我国各地区累积了大量的新资料和科研成果，国内外地震科学在各方面也有很大进展，出现了一些新的地震区划技术途径和方法。同时，随着我国经济的振兴，要求地震科学技术更好地为国民经济建设服务，尽快编制反映当今地震科学水平的新的中国地震烈度区划图，这是中国地震部门责无旁贷的责任和十分紧迫的任务。

地震烈度区划图是表示未来一定时期内，不同地点的地震危险性程度的图件。它是抗震设防的依据，对于减轻地震灾害，保证人民生命财产和“四化”建设的安全有着极为重要的作用。为了尽早开始编制新的中国地震烈度区划图，国家地震局曾于1983年召开地震烈度科研工作会，讨论研究了编制新的中国地震烈度区划图的有关工作，从认识上统一了编制新的中国地震烈度区划图的必要性和可能性。之后，国家地震局安排了四个局直属研究所开展新编烈度区划图的原则、方法及专题研究，并以海南岛北部和鲁南地区为例，用地震危险性

分析概率法编制区域地震烈度区划图(以50年10%超越概率为标准)作为技术方案的试点研究。为编制新的中国地震烈度区划图做了技术上的准备。

1986年国家地震局决定将编制新的中国地震烈度区划图列入“七五”期间的重点科研项目。1986年8月在北京召开了编图方案论证会,与会专家对编制新区划图的指导思想、原则与方法、内容与形式、研究课题以及组织管理和进度等方面进行了讨论。会议一致认为,编制新的中国地震烈度区划图的条件已成熟,建议国家地震局尽早部署工作。

我国幅员广大,各地区地震地质、地震活动特征复杂多样,研究程度详尽不一。因此,编制新的中国地震烈度区划图是一项难度很大、牵涉面很广的科学系统工程。为了保证新的中国地震烈度区划图编制工作的顺利开展和编图的质量,国家地震局采取了切实的措施,成立了编委会,专家顾问组和编图办公室。

由有关学科经验丰富的31位中、老专家组成顾问组;组长刘恢先,副组长丁国瑜、陈颙、胡聿贤、李坪。

由地震地质、地球物理和地震工程三个学科的8位专家担任编委会的主编和副主编:主编高文学、时振梁,副主编陈达生、金严、张裕明、叶洪、鄢家全、陶夏新。

由国家地震局管理职能部门(局科技监测司)组成编图办公室:主任葛治洲,副主任李裕澈、徐宗和,秘书卢寿德。

在编制新的中国烈度区划图方案论证会之后,相继组织过几次专家讨论会,对编图的有关工作进行了补充准备。在此基础上,国家地震局于1986年11月在海口市召开了新的中国地震区划工作会议,国家地震局系统各直属单位、各有关部委和大学等49个单位,150名代表出席了会议。会议期间,新的区划图编委会对编制新区划图的技术途径和要进行的重点课题都作了进一步说明。会议对编图工作的组织管理和进度都做了具体安排。

地震区划与中、长期地震预报是密切相关的。根据地震科学的发展水平和当前工程建设、抗震设计的实际需要,在编制新的中国地震烈度区划图时,广泛收集了中国地震活动和地震地质资料,充分利用我国近十余年来,在中、长期地震预报科研成果和前两次编制全国地震烈度区划图的经验。同时,考虑到我国地震活动在空间上的不均匀性和时间上的非平稳性。编图所采用的方法是当前国际上通用的地震危险性分析综合概率法,并对其作了重要改进。其中,在潜在震源区及其参数的确定上,采用二级划分的方法,以地震带为基本统计单元,对各潜在震源区的年平均发生率用分震级档次加权分配,并根据我国烈度衰减规律特点,用椭圆衰减模型进行地震危险性计算。

整个编图工作在1987年全面展开,为了检验编制新的中国地震烈度区划图的技术思路和方法是否可行,在正式编制新的中国地震烈度区划图以前,曾对华北地区进行了试编,为编制新的中国地震烈度区划图积累经验。试编的华北地震烈度区划图在1987年底于广州召开的国际地震区划会议上得到国内外专家的赞同,并充分肯定了编制本图的原则、技术思路及方法的先进性和正确性。

从1987年至1990年,编委会和编图办公室组织国家地震局直属研究所和各省市、自治区地震局,投入了大量的人力物力,完成了资料整备、基础图件的编制、专题研究、潜在震源区划分与现场核查、基本参数的确定、各种方案计算结果的对比分析,成果图件的编制,编写说明书等工作。在编制成中国地震烈度区划图(1990)后,曾在国内广泛地征求过意见,做过适当的调整和修改,于1991年11月通过国家科委组织的专家组鉴定验收,1992年5月经

国务院批准由国家地震局和建设部联合颁布使用。

中国地震烈度区划图(1990)的比例尺为1:400万,该图全面地反映了各地区地震活动的相对危险程度。图上所标示的地震烈度值,系指在50年期限内,一般场地土条件下,可能遭遇的地震事件中,超越概率为10%所对应的烈度值。50年内超越概率为10%的风险水平,是目前国际上普遍采用的一般建筑物抗震设计标准。因此,该图不仅可以作为中小工程和民用建筑的抗震设防依据;也是国家经济建设和国土利用规划的基础资料;同时还是制定减轻和防御地震灾害对策的依据。

在编制中国地震烈度区划图(1990)的同时,编图组人员根据有关的基础资料,编制了六幅附图。这些附图是地震科技工作者从事科研工作最基本的资料,也是各级决策者和管理人员防震减灾的重要参考图件。这六幅图是:

(1)中国及邻区地震震中分布图(1:400万),包括国内公元前780年至1969年 $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震,1970年至1986年 $M_s \geq 2.0$ 级的地震,以及国外地震。这幅图全面展示了我国及邻区的地震活动状况。

(2)中国及邻近海域活动构造图(1:400万)及说明书,采用板块构造学说,突出了板内活动构造和地震活动的相互关系。该图以全新世构造活动为基础,反映了第四纪构造活动不同层次的活动性质、破裂系统、地面隆起和沉降带的区域特征。

(3)中国地震综合等震线图(1:400万),是以310次地震的等震线图为基础,并考虑历史地震震中和地震烈度衰减的区域特征而编制的。该图全面地反映了我国境内历史地震所造成的最大烈度分布状况。

(4)中国及邻区地震震源机制图(1:1000万,附说明书),该图展示了1931—1988年期间325次地震的震源机制解。全面地揭示了我国及邻区震源错动性质和现代构造应力场的区域特征。

(5)中国地震烈度区划图(1:1000万),是1:400万区划图的缩印版。

(6)英文版的“中国地震烈度区划图(1:1000万,附英文说明书)。

本书全面系统地阐述了新编中国地震烈度区划图(1990)的各个方面,包括编图的原则和方法、中国地震活动特征、地震构造环境、地震区带、潜在震源区划分、地震活动性参数、区域地震烈度衰减关系、场点地震危险性和参数敏感性分析、地震烈度区划图及运用前景等诸方面。全书包括前言、结语和九个章节。前言和结语由高文学编写,第一、二章由时振梁编写,第三章由金严编写,第四章由高维民、环文林、张裕明编写,第五章由汪良谋编写,第六章由叶洪编写,第七章由鄢家全编写,第八章由陈达生编写,第九章由陶夏新编写,王笑媛对全书做了大量文字和技术修改工作,最后由时振梁统改定稿。

在编图与审批过程中,先后召开了多次有关的会议:葛治洲、李裕澈、徐宗和、卢寿德、孙福梁等同志曾在制定编图计划、交流成果、鉴定审查、总结工作等方面做了大量的组织与文件准备工作。

中国地震区划图是在国家地震局直接领导下,由编委会组织各省、市、自治区地震局(办)及局直属研究所、队共同参加完成的。我们深深地感到该区划图包含了多个单位许多年来通过辛勤劳动在各方面所取得的科研成果,没有这一基础,没有上述各部门,各学科专家以及有关同志的帮助和积极支持是不可能完成的。在此,谨向为本区划图作出贡献者表示衷心感谢。

目 录

前言

第一章 概论	(1)
第一节 地震区划的目的和意义	(1)
第二节 中国编制地震区划图的历史	(1)
第三节 国外地震区划方法概述	(3)
第四节 地震区划内容和沿革	(4)
第五节 地震危险性分析概率方法	(6)
第二章 中国地震区划图编图原则和方法	(11)
第一节 编图原则	(11)
第二节 编图方法	(12)
第三节 基础资料和图件	(15)
第三章 中国地震活动性	(17)
第一节 地震资料的整理和目录编制	(17)
第二节 中国地震活动的空间分布特征	(20)
第三节 中国地震活动的时间分布特征	(25)
第四节 地震活动的相关特征	(26)
第四章 地震构造环境	(28)
第一节 现代大地构造基本轮廓	(28)
第二节 地壳结构与地球物理场	(30)
第三节 现代地壳形变场	(34)
第四节 现代构造应力场	(37)
第五节 活动构造	(44)
第六节 地震发生的地质构造条件	(59)
第五章 中国地震区、带划分	(64)
第一节 地震区、带的含义和作用	(64)
第二节 地震区、带划分原则和依据	(65)
第三节 地震区、带概述	(66)
第六章 潜在震源区的确定	(89)
第一节 潜在震源区的含义与类型	(89)
第二节 潜在震源区确定的原则与步骤	(90)
第三节 潜在震源区方向与范围的确定	(94)
第四节 潜在震源区震级上限的确定	(96)
第五节 潜在震源区划分的分区性差别及不确定因素	(98)
第六节 中国潜在震源区分区论述	(99)

第七章 地震活动性参数	(110)
第一节 确定地震活动性参数的原则.....	(110)
第二节 地震带的震级上限 M_{uz}	(113)
第三节 起算震级 M_0	(116)
第四节 震级频度关系式中的 b 值.....	(117)
第五节 地震活动的年平均发生率 (ν)	(123)
第六节 空间分布函数 f_{inj}	(129)
第八章 地震烈度衰减关系的确定与应用	(137)
第一节 地震烈度衰减关系.....	(137)
第二节 统计分析地震烈度衰减所依据的资料.....	(138)
第三节 地震烈度衰减关系的统计分析.....	(140)
第四节 椭圆衰减曲线的长轴取向及其分布概率.....	(144)
第九章 地震烈度区划	(145)
第一节 地震危险性计算.....	(145)
第二节 地震活动性参数的敏感性分析.....	(149)
第三节 不确定性校正和地震烈度分区.....	(152)
第四节 地震烈度分区轮廓和主要特点.....	(153)
结语	(156)
附录 1 中国地震烈度衰减资料	(160)
附录 2 参加本区划图编图工作的单位及人员	(174)

第一章 概 论

第一节 地震区划的目的和意义

地震区域划分图是在全国范围或比较大的区域范围内,按照地震的不同强弱程度,以一定的标准(包括时间年限、概率水平标准、地震烈度、水平峰加速度、水平峰速度等地震动参数标准等),划分出不同危险程度的区域,并以图件的形式表示出来。地震区划图是在总结过去,认识当前,预测未来的基础上编制的。总结历史上发生过的许多大地震地区的地理、地质、构造环境,大震前后相当长时间尺度、和周围相当大地域范围内的大小地震活动情况。以此为基础,使对大地震发生的时间和空间分布条件的认识深化,并进一步系统化,寻求其规律,以此预测、评估未来发生类似强度地震的可能时间和地点。然后由点到面,全面衡量未来一定时间内各个地区的地震危险程度,将各个地区的地震危险程度以一定形式表示在图上。地震区划图提供了各个地区未来一定时间内可能的地震危险程度的信息,便于各级政府部门在经济建设规划、部署工程建设投资和减轻地震灾害损失中,有一个比较全面、可靠的遵循依据。例如,在部署工程建设时,可有意识地避开可能造成严重地震灾害的地区,合理安排土地利用,进行必要的工程抗震设计,在防震、减灾中制定相应的对策或有效的措施等。对于中小型的工程建设,工程师们可以根据地震区划图上各个地区所标示的地震强度进行建筑物的抗震设计。

地震区划图是地震科学研究的重要组成部分,它广泛利用了地震、地质、地球物理、数学、工程等学科的科研成果,在一定的理论指导基础上,统计、分析、综合的结果,它是地震学的综合性、总结性的图件,为地学各学科中自然现象的对比分析、相互印证提供了基础性图件,为促进学科发展也起到一定的作用。

第二节 中国编制地震区划图的历史

我国的地震区划研究,早在本世纪 20 年代初就已经开始,到本地震区划图的编制,大体已经历了四个重要发展阶段。

1. 1920 年海原 8.5 级巨大地震发生后

我国地质学家翁文灏在广泛收集历史地震和地质构造资料的基础上,结合对 1920 年海原地震的现场考察,于 1923 年发表了“中国地震与地质构造的关系”一文,并在十三届国际地质学会大会上宣读。该文首次提出了中国地震分区,结合中国地质和地震活动特点,划分出四种构造类型十五条地震带^[1]。翁文灏在划分地震带或地震区划时强调了地质构造的影响作用,指出“凡地震皆有重大断裂,这些断裂活动的时间均较新,在第三纪和第四纪之初”。并且认为水平运动和上下运动皆能发生地震。早期的地震区划都是作为学术性的研究,没有和经济建设相联系。

2. 新中国成立后

我国的地震区划研究工作，一直是与国民经济建设紧密结合在一起的。在实现第一个五年经济建设计划期间，我国政府就已经明确规定，在地震区一些重要工程建设都需要进行抗震设防，特别是原苏联援建的 156 项建设工程，都要有当地的地震基本烈度数据，作为抗震设防的依据，有些重要的流域规划，如黄河流域，就需要有整个流域的地震区划。当时我国的地震科研还处于刚开始阶段，历史地震资料分散，没有一个完整的目录，仪器记录只有国际台网测定的数据。对地震的认识还很肤浅，认为“过去发生过大震的地区，也是未来的地震区”。地震烈度评定，简单地以该地区遭受到的历史地震强度为准。地震区划图是以当时拥有的资料为依据，把各地历史上遭受的最大地震强度标示在图上，把相邻的同样强度的地区圈在一起，所以也称地震烈度地理分布^[2]（当时为黄河流域规划开发需要，作为内部资料，同时还编制了 1:300 万的“黄河流域地震烈度区划图”）。

1954 年，为了适应国家经济建设的需要，成立了中国地震工作委员会，并着手编制全国性的地震烈度区划图。在编图中，意识到单纯依据历史记载来衡量某个地区的地震危险性是不够的，必须结合地震地质条件来考虑，因此 1957 年以李善邦为首编制“中国地震烈度区划图”时，采用了两条编图原则，即：①历史上发生过的地震，将来还可能重复发生；②在相同地质构造条件下，可能发生同样强度的地震。这是我国编制的第一张全国性的地震区划图，该图建立在相当丰富的资料基础上，在地震区划的理论上和实践上都向前迈进了一步，首次全面论述了我国各地区的地震危险性。该图和说明书发表在 1957 年地球物理学报上^[3]。当时编制该图的目的是希望各地工程建设单位，将图上所示的地震烈度，作为确定该地抗震设计烈度参考。但是，由于该图所规定的烈度区没有赋予明确的时间概念，致使不少地方确定的地震烈度值偏高，因而未被建设部门所采纳。

3. 1977 年颁布了中国地震烈度区划图^[4]

编制该图时明确了基本烈度的概念，其含义是：“在未来一百年内，在一般场地条件下，该地可能遭遇的最大地震烈度”。该图的编制分两步完成，即先进行地震危险区划，后完成地震烈度区划。地震危险区划是对未来百年内可能发生的地震地点和强度进行预测，地震烈度区划是在地震危险区预测的基础上预测未来地震的最大烈度分布。编制该图的主要技术途径是：①根据区域地震活动、地震地质条件，划分地震区和地震带；②评价各区、带未来百年内的地震活动趋势，最大震级和各级地震的次数；③研究和总结各地震区、带内不同强度地震的发震构造标志；④制定各地震区、带内未来百年可能发生的各级地震数和地震发生地段，勾划出各级地震危险区；⑤按该区地震烈度衰减的统计数据，圈定地震影响烈度及其分布范围。该图首次引入了地震趋势性分析的概念，将区划图赋予地震时间预测的含义，同时，它配合地震地质资料研究，在区划图中为避免过多过大地圈定地震危险区起了一定的限制作用。1957 年和 1977 年编制的地震区划图，基本思路都是以该区地震活动特征和地震构造条件为依据，以此判断未来的地震危险程度。也可统称为以确定性的方法编制的地震区划图。该图被国家建委和国家地震局批准作为国家建设部门规划中、小型工程的抗震设防时参考使用。

4. 1977 年后国内地震区划研究

随着工程地震学的发展，我国有不少研究人员先后以新的思路和方法，对工程场点进行地震危险性评定，如 1982 年章在塘、陈达生发表了二滩电站的地震危险性分析结果^[5]，在这以后，我国有许多重大工程项目采用了概率分析方法，对一个场点进行地震危险性估计。也

有不少研究人员,以局部地区为对象,编制地震区域划分图,如1982年宋良玉将极值统计理论引入地震区划,编制了华北基岩最大加速度概率估计值的区划图;1985年鲍霭斌、周锡元等对全国45个城镇的地震基本烈度用地震危险性分析概率法进行标定^[6];1985—1986年高孟潭和陶夏新,都以地震危险性概率分析方法为基本思路,研究了京津唐地区的地震区域划分。1984年和1986年国家地震局科技监测司组织有关单位,以海南岛北部和山东南部地区作为编制中国地震区划图的试验区,编制了相应地区的1:50万的以地震烈度区划和基岩水平峰值加速度区划两种类型的图件^[7,8],这两种区划图都是以50年期限,10%超越概率作为区划的基准。

关于地震危险性概率模型,近年来在我国也得到不断的深化,时振梁等以华北地区为例,讨论了区划的原则和方法^[9],重点阐述了我国中长期地震预测成果与地震危险性分析方法结合问题,并给出了改进的地震危险性分析方法;周克森等综合地震活动时空不均匀性和众多不确定性因素,给出了地震危险性分析多维不确定性的复合概率模型^[10];王阜引进了更新点过程模型,并给出了将这种模型用于地震危险性分析的方法^[11];胡聿贤等通过中长期地震预测与地震危险性分析方法的结合,提出了地震危险性分析综合概率方法^[12]。

以上诸项研究工作,为编制新的地震区划图提供了在多震区、少震区,研究程度高的地区和基础工作薄弱地区的不同情况下编制区划图的经验。

第三节 国外地震区划方法概述

一些多地震的国家都编制了自己的地震区划图,并且都进行过多次的修改。

本世纪50年代初,原苏联以戈尔什科夫为首编制了《全苏地震区域划分图》。该图主要采用历史地震统计方法,结合各个地区的地震地质条件,将已遭遇的地震烈度作适当延长拓展,以确定该地区的地震危险度,此称为普通地震地质法。并概括为两条编图原则,即:①地质条件相同的地区,地震活动性基本相同;②历史上曾经发生的最大地震,同样强度的地震在将来还可能发生。与此同时或稍后,原苏联还有以第四纪活动断层作为依据划分的区划图,有以地质历史分析法、构造运动速度梯度法、地震活动度法等编制的地震区划图。美国则主要依据地震能流密度(即折合为4级地震的次数,以衡量每单位面积的地震活动性)来划分地震区。近十余年来,随着活断层和古地震研究的迅速发展,在不少地方(如活断层断裂带上)都发现了若干古地震现象,并可依此判定大地震的重复周期。日本松田时彦在1987年的中日地震预报讨论会上介绍了日本利用活动断层资料编制的日本地震危险性图,在该图上标出了全日本4000个场点上每个场点V度地震(“JMA”的V度相当于MM烈度表的Ⅷ度)的期望平均震动间隔。以上列举的一些地震区划方法都是建立在对地震活动性和地质构造直接判定结果基础上的,即我们现在所称的确定性的地震区划方法。

另一种方法是在本世纪50年代初由日本河角广提出来的。他利用日本的历史地震资料,将全国分为350个小区($0.5^\circ \times 0.5^\circ$),用概率统计方法,计算在一定年限内发生一次最大地震的烈度期望值,然后按日本烈度和加速度的关系式换算成加速度,编制成分年限(按75年、100年、200年)的日本地震加速度区划图。美国在70年代初期也曾利用通常我们所用的烈度-频度关系式(相当于震级-频度关系式),用历史和仪器观测地震资料,计算了若干大区每百年内可能遭遇到的各种烈度值的地震次数。这已初具地震重复的时间概念。1968年美国

C. A. Cornell 进一步提出将地震危险性概率分析方法用于评价工程场点的地震危险性^[13]。1976 年 S. T. Algermissen 和 D. M. Perkins 采用地震危险性分析方法, 编制了新的美国地震区域划分图^[14]。该图使用地震复发周期为 475 年, 即 50 年超越概率为 10% 的基岩地震水平峰值加速度分布图。该图发表后, 当年即被美国 ATC (Applied Technology Council) 采纳, 作为开展综合地震设计规定, 应用于抗震建筑规范 (ATC-3)。之后, 世界许多国家相继效法应用, 在方法上也不断得到改进。1982 年, S. T. Algermissen 等又编制了美国地震峰值速度区划图。近两年来世界其它各国发表了很多地震区划方面的文章, 基本原理都是采用由 Cornell-McGuire 发展起来的地震危险性概率分析法, 也就是后来由 Algermissen 提出的在区划方面的应用。如 1985 年由 Basham, P. W 等发表的加拿大地震区划图^[15], 首先根据加拿大地区的地震活动性和地质构造的研究, 将全国划分为 32 个潜在震源区, 而地震动衰减规律是基于美国近 7 年得到的大量近场加速度记录的回归结果。新的加拿大地震区划图规定采用年超越概率为 0.002 的水平峰值加速度和水平峰速度值。M. Erdik 等 (1985) 发表的土耳其地震区划图^[16], 也是经过同样的地震危险性分析途径, 以复发周期为 225 年、475 年和 10000 年为目标的最大地震烈度和最大水平峰值加速度等值线图。此外, 还有希腊、伊朗、原苏联、蒙古和巴尔干地区等也相应编制了本国或本地区的地震区划图, 其基本思路和编图方法大同小异, 这里不再赘述。从这里可以看到, 当前国际上编制的区划图大多采用概率分析法, 且以编制地震烈度和地震水平峰值加速度的区划图居多。这些区划图大多被本国建设部门所采纳, 作为抗震设计的依据。

第四节 地震区划内容和沿革

地震区划图, 顾名思义是在地理图上标出不同地震危险程度的区域, 区划图有别于一般的地震震中分布图或其它地震活动性图件, 前者具有某种判断和预测的含义, 后者只是客观反映地震情况。但是区划图也有别于地震预测图, 区划图是为了应用, 为了工程建设抗震设计的需要而编制的, 它同时需要考虑安全可靠和经济合理两方面的因素, 在这两者之间取得合理的平衡。

国内外地震区划的标示内容, 包括强度标度和时间标度两个方面。

一、地震区划的强度标度

地震区划图面上所标示的内容有:

1. 地震烈度

最常见的地震区划图, 图上标示的地震烈度的含义是, 表示该场点未来可能发生或外地可能影响到场点的地震破坏程度。我国 1957 年和 1977 年发布的两张《中国地震烈度区划图》和原苏联 1980 年以前所编制的苏联地震区划图即属于此类。

2. 地震危险区 (以地震震级为代表)

是对未来地震危险性分区, 用震级大小表示各个地区的地震危险程度, 我国 1977 年发布的中国地震危险区划图, 1957 年科拉克等编制的新西兰地震区划图即属此类, 图上只表示可能发生不同震级的区域, 不表示破坏效应的影响情况。

3. 地震破坏程度

以美国 1949—1969 年期间发布的美国地震区划图为代表,图上标示的地震破坏程度,划分为:0——无破坏;1——轻破坏;2——中等破坏;3——重破坏四个等级。实际上,它所表述的破坏程度和地震烈度的内容是相对应的。

4. 地震动物理参数

近年来世界各国普遍采用地震动物理参数作为衡量地震危险性的标度,图上标示的地震动参数,以地震水平峰值加速度居多,以地震峰值速度为内容的次之,以地震位移和地震反应谱特征作区划图的少见。最早(1952年)日本河角广编制的地震区划图就是以地震加速度和地震速度为标度的区划图,1968年后,美国陆续发表的几幅地震区划图都是以基岩地震水平峰值加速度和基岩地震水平峰值速度为标度的。

二、地震区划的时间表示

在确定了场地的情况下,地震强度和时间是相伴而生的,没有时间概念或预测时间很短的地震区划,对工程建设来说是没有意义的。但是,由于历史地震资料短缺,难以赋予明确的时间区限。区划图中时间的表述有:

1. 模糊的时间概念

早期的地震区划图,多数没有给出明确的时间年限,如美国 1969 年以前编制的地震区划图,指出预期可能的最大地震破坏程度,预期的时间是不明确的,虽然,后来阿杰米森等人作过尝试,欲以百年的地震频度来衡量,但是没有被采纳。原苏联早期的地震区划也没有明确的时间年限。我国 1957 年编制的地震区划图上所指的地震烈度为未来可能遭遇的最大地震烈度,时间概念模糊,致使许多刚发生大地震的地方,地震烈度依然定得很高。

2. 确定的时间期限

建筑物都有一定的使用年限,为了经济合理地对建筑物抗震设计,区划图需要限定一定的时间年限。我国 1977 年编制的地震区划图设定图上所标示的地震烈度是指 100 年内可能遭遇的最大地震烈度。近年来,随着科学技术的发展,抗震年限可缩短至 50 年、30 年或 20 年,这些都和预期地震发生的可能性相联系。

3. 地震重复周期

根据历史记载对所划分的场点或小区内地震强度(烈度或震级)和频度的统计可得到地震重复周期。如早年日本地震区划是在经纬度各 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 内统计得到的,按地震重复周期为 75 年、100 年、200 年编制区划图;印度的地震区划图明确规定地震重现期为 100 年;希腊、巴尔干等地区的地震区划图也都是以这种形式编制的。

4. 概率含义的时间因素

这是目前世界各国编制地震区划图所普遍采用的,它可以将地质资料和地震活动性资料结合起来,与上述地震重复周期的表述形式相类似,地震超越概率的含义是将地震发生时间的重现率假定为泊松分布。

三、地震区划的沿革

地震区划作为一门学科,和其它自然科学的进步和发展一样,与当时拥有的基础资料的积累程度、对地震活动规律性的认识程度和当时的科学技术发展水平有关,地震区划是随着

对自然界的认识程度和科学水平的发展而发展的。当然,地震区划的内容也和当时建筑物抗震技术水平和设防要求相适应。地震区划学科的沿革表现在如下四个方面:

(1) 区划时限的规定。由模糊的时间概念到确定的时间年限,而目前完全可以按照工程的使用期来规定区划的年限设定是 20 年、30 年、50 年或 100 年。

(2) 区划中地震强度标度的选择。从地震破坏程度、地震烈度作为标度发展到直接采用抗震设计中所要求的地震动物理量,如水平峰值加速度、速度、位移、反应谱特征等。

(3) 应用的技术方法。由确定性的方法到概率性描述方法过渡。所谓确定性的方法,是将许多不确定的因素人为地给予确定化,这不符合当时对客观事物固有规律的认识水平。我国沿用多年的“工业与民用建筑抗震设计规范”也正在逐渐由确定性的设计方法改为以概率为基础的设计方法。

(4) 区划的技术内容。50 年代,中、日、美等国是单一地根据历史地震破坏程度并结合仪器记录统计的结果直接编制地震区划图,此后结合地震地质条件来认识,而目前发展成多学科,多因素的综合评定方法。

分析国内外编制区划图的发展历史,对选择和确定编制我国新的地震区划图的技术途径是有益的。

第五节 地震危险性分析概率方法

地震区划图是建立在对场点一定的地震危险性评定基础上的,地震危险性评定也是地震工作作为生产建设服务的重要体现。对地震危险性评定方法的表述方式有两种,即确定性的称为定数法和概率性的称为地震危险性分析概率方法。

本世纪 70 年代以前的地震区划都是采用确定性的方法编制的。由于地震区划的最终目标是要预测未来地震发生的时间、地点和强度,以便于设计师可以根据预测的强震地面运动参数进行重要建筑物的抗震设计。然而,实际上当前的地震科学水平还达不到精确预测的要求,对地震发生机制、传播途径和局部场地条件等多种影响因素都知之甚少,具有相当大的不确定性。因此,70 年代后,都纷纷采用概率方法估计未来的地震危险性,地震危险性分析概率方法能够合理地表达当前我们对地震发生规律的认识水平,也符合当前工程抗震设计的需要。

一、地震危险性分析概率方法基本假定

地震危险性分析概率方法是 1968 年由美国 Cornell 首先提出的^[14]。现已广泛用于地震区划,地震危险性分析概率方法是要考虑到所有可能发生地震的地区和发生各个震级地震的可能性,最终估计给定地点的地震动超过某一阈值的可能性,并用超越概率的方式表达。它对于地震活动的时、空、强的分布特征有以下几个基本假定:

(1) 假定地震活动是非均匀的表现地震只发生在一些特定的区域内,这些特定的区域称之为潜在震源区。在潜在震源区内,地震发生的可能性处处相同。潜在震源区的划分则基于地震学和地震地质学对于地震发生条件的认识。

(2) 在所考虑的时间段内,在每个潜在震源区内地震发生的可能性不随时间而变化。

(3) 在每个潜在震源区内,地震事件彼此独立,即地震的发生在时间上服从泊松分布,在

T 时间内发生 K 次地震的概率 P 为:

$$P(K) = \frac{\lambda^K}{K!} \exp(-\lambda)$$

由于参数 λ 是泊松事件在 T 时间内发生次数的数学期望值, 所以这里 λ 的意义是地震事件在 T 时间内的平均发生率。

(4) 在一个潜在震源区内地震事件的震级分布为指数分布, 即震级大于 M 的次数 $N(M)$ 与震级的关系为:

$$\lg N(M) = a - bM$$

• 这就是地震学中常用的震级-频度关系。

还有一个引出的结果, 就是在指定场地上, 由某个潜在震源区内的地震事件造成地震动超过指定阈值的事件, 也服从泊松分布。即由第 i 个潜在震源区 (假定有多个潜在震源区) 中的地震事件造成在 T 年内指定场地的地震动值超过指定阈值的事件发生 K 次的概率为:

$$P_i(K) = \frac{\lambda_i^K}{K!} \exp(-\lambda_i)$$

这种事件至少发生一次的概率为:

$$P_i(K > 0) = 1 - P_i(K = 0)$$

如果有 n 个潜在震源区, 则指定场地上在 T 年内至少发生一次地震动值超过指定值的事件的概率 (即指定地震动值的超越概率) 为:

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(K > 0)]$$

二、地震危险性分析概率方法步骤

根据上述一些基本假定, 在编制地震危险性分析概率估计方法的地震区划图时, 可以分为下列四个步骤 (图 1.5.1) 进行 (Algermissen, 1976)^[14]。

第一步确定潜在震源区, 根据对地震发生规律、发生条件的认识, 划出所有可能发生破坏性地震的区域;

第二步给出潜在震源区的地震活动性参数, 以 $\lg N = a - bM$ 关系式为代表, 设定区内地震活动性能够有效地代表未来的地震活动性, 并假设由 $\lg N$ 和 M 关系式所确定的各级地震在潜在震源区内任何地方发生的可能性是相同的;

第三步拟合适合本地区的地震动 (I 、 A 、 V 等) 随震级和距离的衰减关系式;

第四步计算给定场点 (或地区) 的地震动的概率分布, 从这一分布可以得出给定场点给定年限内具有任何概率水平的地震动分布, 或给定年限、给定地震动值的概率分布等。

按此方法, 在区域范围内, 对所有控制点 (或场点) 计算各点给定年限, 给定超越概率的地震动值, 并将结果勾画成等值线, 编制成等年限或等概率水平的地震动分布图。

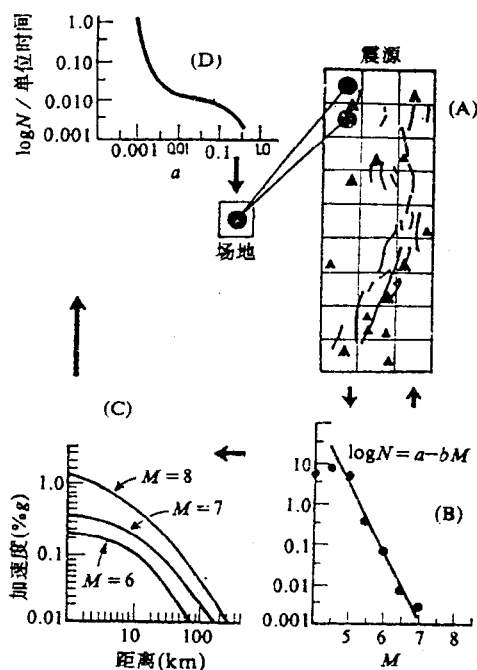


图 1.5.1 地震区划方法的基本要点 (Algermissen 和 Perkins, 1976)

三、地震危险性分析概率方法特点

刘恢先曾指出,编制新的地震区划图时,“首先要树立概率观念”^①。我国以往的区划图都是确定性的预测,把基本烈度定义为在一定时期、一定地点可能发生的最大地震烈度。因此,只要在某个低烈度区发生一次大震便被认为这个烈度区划是要不得的。如果从概率的观点出发,则不然,地震的发生被认为是随机的,在任何地点都有发生大震的可能,只是发生大震的机会有大、小之别而已。低烈度区的含义是指在此区发生大震的概率很小,但不一定等于零。同样,在高烈度区发生大震的概率大,但也不等于1。不能以一次大地震的发生而全盘否定区划图的正确性。因此烈度区划图必须以一定概率为前提,在具有概率含义的地震区划图上所表示的烈度值,是说明在某一概率水平下该烈度地震发生的可能性,它隐含着更高烈度地震也有可能发生,但是它发生的概率更低而已。因此,具有概率含义的区划图,代表了当前人们对地震发生规律的认识,符合当前我们的地震科学水平。

以地震危险性分析概率方法编制的区划图有两个假设前提:①历史上场区附近发生的地震代表该区未来的地震危险性,即给定场点地震烈度的重现率和历史的一样;②某地区的地震活动可以用该地区构造上的地震作为代表,即一定构造单元内或活动断层上的地震活动是均匀分布的。这两个假设前提在本质上与我国常用的历史重演和构造外推两条原则没有根本区别,但在地震危险性分析概率方法中增加了给定未来发生的地震危险程度,并以此代替以

① 刘恢先, 1987, 在中国地震区划工作会议上的发言。