

地震区的场地 与 地基基础

刘惠珊 张在明 编著

■ 中国建筑工业出版社

86.11

9401121

86-11

地震区的场地与地基基础

刘惠珊 张在明 编著

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书是为从事与抗震工程有关工作的工程技术人员写的一本岩土工程抗震方面的入门书,包括三部分内容:工程地震、土动力学与地基抗震,在三部分中对地基抗震给以较多篇幅,因为目前这方面内容的专著特别缺乏,多散见于一般杂志及会议论文,很少系统论述。

本书的二、三、四、六章主要是工程地震及地震反应分析方面的内容,其余各章则主要是土动力学及地基抗震。

本书的特点是:从基本理论到工程实用给以系统全面的概述,弥合对工程地震、土动力学与地基抗震三方面理解上的脱节;落实于应用;

书中汇集了丰富的震害经验与工程实例,反映新的科技成果;以建筑工程为主,兼顾水工、道路、桥梁与地下管线。

本书可供具有土建专业与工程地质及岩土工程专业大学本科地基基础知识和动力学知识的技术人员参考。

责任编辑:石振华

地震区的场地与地基基础

刘惠珊 张在明 编著

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市顺义县板桥印刷厂印刷

开本: 787 × 1092毫米1/16印张: 24 1/4 字数: 602 千字

1994年5月第一版 1994年5月第一次印刷

印数: 1 — 1,800 册 定价15.50元

ISBN7-112-02293-2

TU·1779(7321)

前 言

本书的宗旨是为从事与抗震有关的土建人员，特别是岩土工程人员提供系统的岩土地震工程方面的基础知识与经验总结，为进一步进行抗震问题研究或解决复杂的工程实际问题打下坚实的基础。

工程抗震是一门新兴的学科，在其很多方面还在迅速发展，因而有不完善和意见分歧之处。在我国大学本科教育中又较少工程抗震方面的内容，工程人员的抗震知识主要来自社会实践中的自我充实和阅读各种文献资料，由于缺少系统的入门书，也就增加了工程人员连接各个知识领域、形成有关学科有机联系的完整概念方面的困难，并在知识结构中造成一些薄弱环节。这些薄弱环节表现在很多方面，例如善于熟练应用规范，但对规范的背景不甚了然，因而影响应用的灵活性；对上部结构认识了解多，而对地下部分的知识相应较少；对抗震理论较重视而对抗震构造措施不太注意；对单体建筑的强度与稳定性注意得多而对场地的潜在不稳定性注意不够等等。

近十余年来，我国有关岩土地震工程和土动力学方面的译著或著作已出版了不少，如S. Prakash的“土动力学”（徐攸在等译）、Braja M. Das的“土动力学”（吴世明等译），谢定义的“土动力学”，张克绪等的“土动力学”，刘颖等的“砂土震动液化”，王鍾琦等的“地震工程地质导论”，周锡元等“场地、地基、设计地震”等。上述论著各有侧重，或侧重土动力学基本理论或侧重于液化，或侧重于介绍抗震规范背景，或侧重于宏观地震现象与地质的联系，从各个不同方面阐述了与地震有关的岩土工程问题，但从实用上看需要一本全面介绍岩土工程在地震危险分析，地震区划和工程抗震方面各种应用的入门书，本书即意图完成这一任务，力求使工程人员对地震工程与岩土工程的关系有基本的全面了解。

本书的特点是：

一、覆盖面较广。包括地震波的传播、场地的地震效应与小区划、土动力学原理、地震反应分析、地基震害、地基基础抗震规划与设计、上部结构与地基共同作用理论等从基本理论到实际应用的系统知识。为了使读者熟悉抗震问题的处理手法，本书的最后一章为工程实例，这些实例不仅是抗震验算方法的示范，又显示了处理实际问题时需要考虑的各个方面的各种因素。

二、本书以建筑工程为主，兼顾其它，对水工、铁路、桥梁、生命线工程等领域的震害及抗震经验均有涉及。现代经济建设发展的形势已使工程人员面临的问题常常跨越行业界限与渗入相邻的知识领域，例如城市建设中日益增多的立交桥，地下管网、挡土结构等就要求技术人员具备一定的桥梁、道路方面的知识；大型厂矿中的各式管线、厂内铁路和桥梁、尾矿坝和灰坝等则也要求一定的地下结构、水工筑坝方面的知识；另一方面，工程抗震与岩土工程学科本身的发展依赖于各类结构震害经验的积累，从不同方面对地震现象的描述与探索。因此扩大知识面正是为了更深入的研究、总结与归纳。

三、有丰富的震害资料、岩土工程与地震工程都是经验性很强的科学，宏观震害经验

对这两门科学的发展有重要意义。由于对宏观震害和地震现象认识得不够,至今还有许多未能查清的问题,这些问题的解决首先依赖于累积更多的客观事实和感性认识。理论分析和专家的工程判断需要以丰富的地震经验为基础,并用宏观震害作为检验理论分析或工程判断正确性的标准。由于地震的偶发性与持续时间短暂,地震现象不是任何人在日常生活中都可以遇到的,多数人终其一生也未必遇到一次强震。因此震害经验与工程实录对认识地震和发展这门科学就显得尤其重要,本书中收集了相当多的震害实例与统计资料,以助读者建立对地震的感性认识。

四、本书尽量反映近年来的科研成果,抗震规范是实用性科研成果的集中体现。书中对抗震规范的制订依据和背景资料作了详细介绍,对规范未能详细涉及的许多重要问题也给予充分阐述,如地震反应分析、上部结构与地基的共同作用,各种抗震不利和危险地段的地震效应和抗震措施,液化侧向扩展、液化地基失稳机理、液化减震,震陷分析,桩基抗震等。

本书共分十二章。第一章以及第七章至第十二章由刘惠珊撰写,第二章至第六章由张在明撰写。本书作者愿借此机会向曾为本书提供资料和给予帮助的专家学者表示感谢,并衷心希望广大读者提出批评建议。

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 震害基本情况	1
第二节 地震工程与岩土工程的关系	2
第三节 我国抗震工程的发展	4
参考文献	5
第二章 影响场地地震地面运动的因素	6
第一节 概述	6
第二节 断层的活动性与震源特性	8
第三节 地震波的传播距离对地面运动参数的影响	12
第四节 场地条件对地震地面运动的影响	14
第五节 建筑场地的选择与勘察要求	19
参考文献	24
第三章 地震动分析与地震小区划	25
第一节 地震动的三项主要特征	25
第二节 单自由度弹性体系的地震反应和地震反应谱	28
第三节 场地地震反应分析	32
第四节 地震危险性分析与地震小区划	45
参考文献	56
第四章 设计地震与抗震设计反应谱	57
第一节 设计地震的概念	57
第二节 设计地震的工程定量标准	59
第三节 抗震设计反应谱的确定	61
参考文献	71
第五章 土动力特性参数的测试及应用	72
第一节 概述	72
第二节 土动力特性的原位测试方法	74
第三节 动模量和阻尼特性的室内测试方法	78
第四节 土的动模量与阻尼特性的研究成果及应用	90
第五节 土的动强度与动变形的室内试验研究	99
第六节 地微动的观测和分析	104
参考文献	106
第六章 土与结构相互作用对地震荷载的影响	108
第一节 基本概念	108
第二节 完全相互作用分析	109

第三节 集中质量体系的弹性解法	111
第四节 相互作用的简化计算方法	116
参考文献	122
第七章 土的动强度、液化和震陷	124
第一节 土的动强度	124
第二节 土的动承载力	130
第三节 地震液化机理与概况	135
第四节 液化地面破坏类型	143
第五节 振动下的孔压上升	158
第六节 基础附近的液化势与地基失效	166
第七节 液化判别	171
第八节 液化减震	182
第九节 砂土和软土的震陷	186
参考文献	203
第八章 建筑地基基础震害、抗震设计与验算	206
第一节 地基基础震害	206
第二节 建筑基础上的地震荷载	209
第三节 天然地基的抗震验算	212
第四节 与地基基础有关的抗震设计考虑	215
第五节 土坡的地震稳定验算	225
第六节 挡土墙的动土压力	227
参考文献	232
第九章 抵御地基震害的措施	234
第一节 液化危害分析与处理原则	234
第二节 抗地基震害的构造措施	239
第三节 地基抗震加固设计	242
第四节 振冲桩加固	246
第五节 沉管碎石桩加固	249
第六节 强夯法加固	250
第七节 旋喷法加固	256
第八节 排水法加固	258
第九节 地基加固工程的实际抗震效果与质量监测	262
参考文献	266
第十章 桩基抗震	268
第一节 桩基震害	268
第二节 单桩抗震承载力标准值	276
第三节 水平力作用下桩身应力分析	279
第四节 非液化中桩基的抗震验算	284
第五节 液化中桩基的抗震验算	287

第六节 高层建筑下的桩基	295
第七节 桩基抗震的其它问题	297
参考文献	301
第十一章 地下管线与构筑物的岩土抗震问题	302
第一节 地下管线的地基抗震	302
第二节 土坝、尾矿坝及灰坝的地基抗震	308
第三节 路堤的抗震	318
第四节 桥梁的地基抗震问题	322
参考文献	327
第十二章 工程实例	329
实例1. 设计地震动参数选取	329
实例2. 地震小区划	333
实例3. 多层砖房基底水平地震力计算（基底剪力法）	344
实例4. 钢筋混凝土框架房屋的地震水平力计算（基底剪力法）	346
实例5. 钢筋混凝土框架房屋地震水平力计算（振型分解法）	347
实例6. 太原市19层职工教育中心大楼地基抗震设计	351
实例7. 液化判别、液化等级确定和处理方案	360
实例8. 软土震陷计算	362
实例9. 已有地下水管的抗液化设计	368
实例10. 灰坝地震稳定分析.....	371
实例11. 天津市电视塔结构桩-土共同作用分析	377
索引	383

第一章 绪 论

第一节 震害基本情况

我国处于世界上两个最活跃的地震带上——太平洋地震带与欧亚地震带，因而是世界上有数的多地震国家之一。而且，不论从历史上看还是从近代看，我国的地震灾害之重为全球之冠。1556年陕西华梁地震，死亡83万人，是有史以来全世界地震中死亡人数最多的一次。进入20世纪后，死亡人数最多的一次地震——唐山地震也发生在中国，这次地震死亡24.2万人，伤16万余人。表1-1及表1-2表明，20世纪的灾难性地震造成了101万人死亡，而中国占44%，主要是因1920年死亡20万人的甘肃海原大地震与1976年的唐山大地震所致，

20世纪灾难性地震 [1][3]

表 1-1

日 期	国别、地点	死亡人数 (人)	日 期	国别、地点	死亡人数 (人)
1904.4.4	克什米尔	1.9 万	1972.4.10	伊朗，德黑兰	0.5 万
1906.4.18	美国，旧金山	7 万余	1972.12.22	尼加拉瓜，马拉瓜	0.6 万
1908.12.28	意大利，墨西哥	8.5 万	1976.2.4	危地马拉	2.3 万
1920.12.16	中国，甘肃海原	20 万	1976.6.26	印尼，伊里安查亚	0.3 万
1923.9.1	日本，横滨	14 万	1975.2.4	中国，海城	0.13 万
1935.5.31	印度，奎达	5 万	1976.7.28	中国，唐山	24.2 万
1939.1.24	智利	3 万	1976.8.17	菲律宾，棉兰老	0.8 万
1939.12.27	土耳其，埃尔津詹	10 万	1977.3.4	罗马尼亚	1541
1950.8.15	中国，西藏察隅	3 万	1978.9.16	伊朗，塔巴斯	2.5 万
1964.3.27	美国，阿拉斯加	117	1980.11.23	意大利南部	2913
1970.5.31	玻利维亚	5 万	1985	墨西哥，墨西哥城	~ 3 万

中国大陆12次 M7以上强震灾害统计表 [1][2]

表 1-2

序 号	地 震	发震时间	震 级 (M)	震中烈度	受灾面积 k m ²	死亡人数 (人)	伤残人数 (人)
1	康 定	1955.4.14	7.5	9	5 000	84	224
2	乌 恰	1955.4.15	7.0	9	16 000	18	/
3	邢 台	1966.3.22	7.2	10	23 000	7 938	8 613
4	渤 海	1969.7.18	7.4	/	/	9	300
5	通 海	1970.1.5	7.7	10	1 777	15 621	26 783
6	炉 霍	1973.2.6	7.9	10	6 000	2 199	2 743
7	永 善	1974.5.11	7.1	9	2 300	1 641	1 600
8	海 城	1975.2.4	7.3	9	920	1 328	4 292
9	龙 陵	1976.5.29	7.6	9	/	73	279
10	唐 山	1976.7.28	7.8	11	32 000	242 769	164 851
11	松 潘	1976.8.16	7.2	8	5 000	38	34
12	乌 恰	1985.8.23	7.4	8	526	70	200
小 计					92 523	271 788	209 919

本世纪的七十年代是全球地震灾害普遍较重的10年,在此10年中全球死于地震者41.29万人,而中国占63.7%。表1.2是1955~1985年间世界上大于7级的强震的灾难统计,由此可见我国地震灾害之重。

我国地震灾害严重的主要原因:

一、地震区分布广 在我国,需要考虑抗震设防,地震烈度在6度以上的地区占国土面积的60%。其中6度区占27.4%,7度区占21.55%,8度区占7.37%,9度区占2.46%,10度及10度以上地区占1.12%。

二、震源浅、强度大 故对地面的工程设施,如房屋、道路、桥梁等的破坏性也大,而大量房屋建筑的倒塌则是造成大量伤亡的主要原因。

三、位于地震区的大中城市多 我国381个大、中型城市中50%以上位于7度以上地震区。20个百万人以上的大城市中70%在7度以上地震区。北京、天津、西安、兰州、太原、大同、呼和浩特、包头、汕头、海口等重要城市更位于8度地震区(表1-3)

全国主要城市基本烈度(92年12家地震局发布)

表 1-3

烈 度	城 市 名 称
6	上海、常州、温州、铜陵、宁波、芜湖、南昌、无锡、南通、马鞍山、哈尔滨、杭州、淮北、福州、济南、深圳、重庆、青岛、武汉、郑州、南宁、洛阳、贵阳
7	邯郸、大连、抚顺、蚌埠、厦门、张家口、锦州、长春、南京、连云港、泉州、石家庄、秦皇岛、丹东、吉林、合肥、九江、漳州、沈阳、鞍山、徐州、淮南、枣庄、广州、长沙、昆明、拉萨、乌鲁木齐、湛江、珠海、焦作、自贡、烟台、北海、德州、成都、渡口、宝鸡、西宁
8	北京、大同、天津、呼和浩特、包头、唐山、太原、安阳、兰州、西安、天水、银川、汕头、三门峡、咸阳、嘉峪关、石嘴山、海口
9	东川、西昌、下关

四、建筑物抗震能力低 由于我国房屋在1974年以后才逐渐开始考虑抗震设计,因而有大量不设防的已有建筑,农村则更突出。而是否正确设防对减轻震害关系巨大,例如在七十年代全球多震灾的十年中,日本发生14次地震,死129人;美国12次地震,死65人;中国10次地震,死26.3万人,其中唐山市因为过去未考虑建筑抗震,唐山地震中85%的房屋倒塌或严重破坏,是造成死亡24.2万人的主要原因。由上述日、美、中三国地震死亡人数的比较,可以了解抗震设防的重要意义。

第二节 地震工程与岩土工程的关系

岩土工程是近五十年来发展起来的土木工程方面的边缘学科,涉及内容为土力学、岩体力学、工程地质学、基础工程学等与土、岩的利用整治、改造有关的科目。地震工程与岩土工程的关系非常密切。从地震的发生、传播到场地的地震反应与工程的抗震技术均与岩土工程有关。借助于图1-1,可以看出地震工程包括四大方面:地震危险性分析;地震区划;工程抗震;防灾。前三部分与岩土工程息息相关:

一、岩石的突然破裂是地震产生的原因,岩土又是传播地震波的介质,因而岩土的地质结构及物理力学性质决定了震源机制,地震波传播的衰减规律及地面震动的强弱等,从

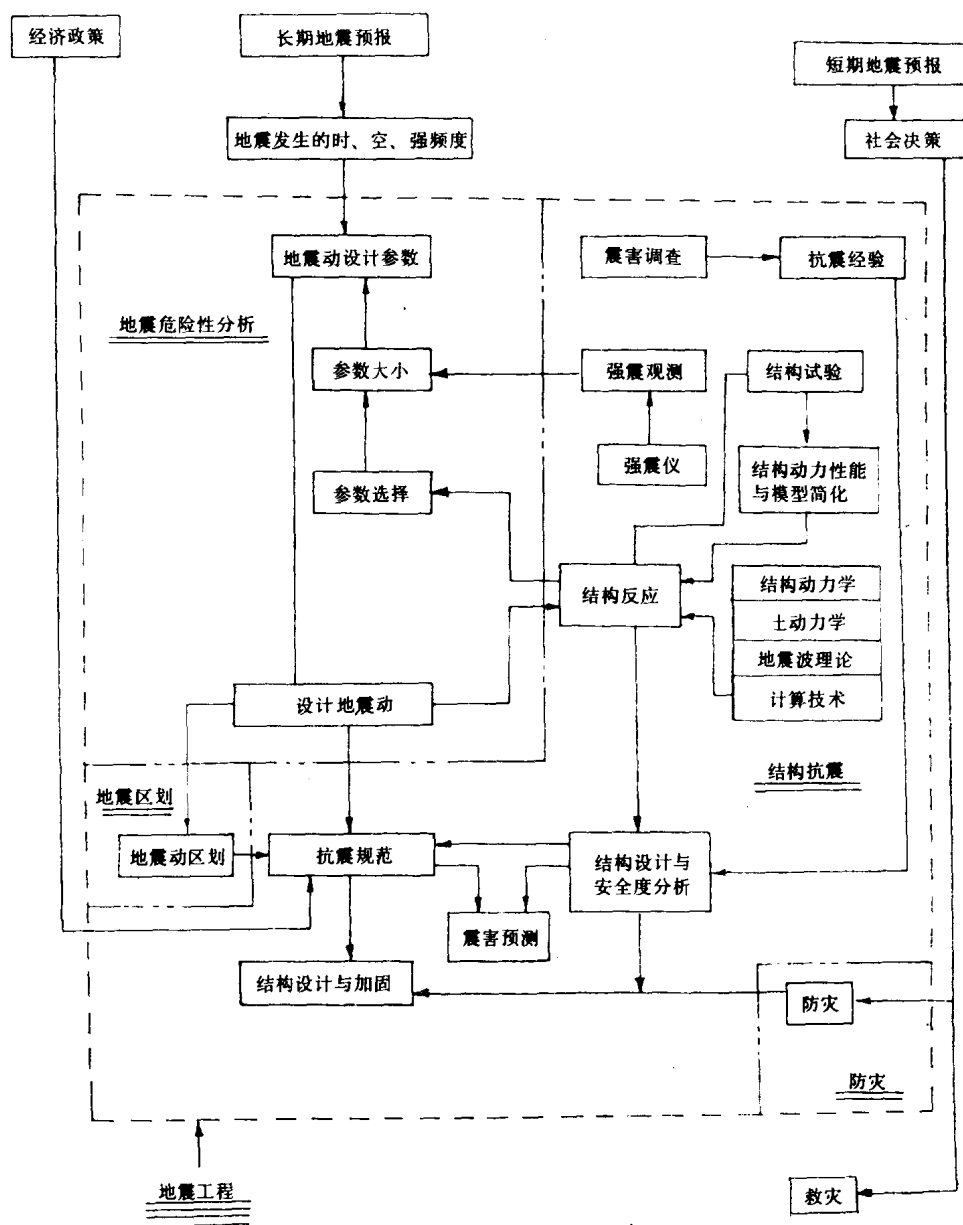


图 1-1 地震工程内容 (胡聿贤)

而决定了各地的地震强度与基本烈度。

二、基岩上覆盖土层的构成与地形地貌又是地震小区划的决定因素之一。即使基岩接受到的地震波相同，由于覆盖层及地形地貌的不同地表反应也会大不相同，从而在较大区域内又按地表反应的不同划分为地震小区，即地震小区划。一个城市或大的工业厂矿可以划分成数个地震小区。

三、不同地质条件下的工程震害形式与规律不同。如硬场地上刚度大的结构破坏严重，而软场地上高柔结构破坏较多；又如，一般而言，好土上地基几乎没有什么震害，而松砂或软弱地区上地基震害却很多等等。

四、覆盖层的组成与相应的土的动力特性及参数,如剪切波速、土的动剪切模量与阻

尼特性、液化特性、动强度、动变形和震陷特性、动应力、动应变关系等,是决定场地与结构物地震反应的必要资料,又是抗震验算和采取抗震措施的设计依据。缺少这些数据与资料将无法对地震时结构的安全与稳定作出评估。

从地震工程学与岩土工程学的发展状况也可以反映出二者的紧密连系,1906年美国旧金山大地震($M=8.4$)、1923年的日本关东大地震($M=8.2$)、1933年的美国长滩地震、1940年美国帝国河谷地震等20世纪上半叶的著名大地震为地震学科的建立积累了基础资料。例如震害与地质条件和结构类型的关系、实测地震加速度记录、典型的结构与地面破坏状况等最初一批资料即来源于此。1956年在美国加利福尼亚州伯克利召开了第一届世界地震工程会议。标志着一门以工程抗震为主的地震工程学的形成,1964年的美国阿拉斯加地震($M=8.4$)及日本新泻地震($M=7.4$)则将场地与地基问题提到空前未有的高度,这两次地震以其严重的砂土液化震害引起全球有关人员的关注,在这种形势下岩土工程的重要分支——土动力学也相应得到很大进展,土动力学的研究始于20世纪30年代,在三四十年代是机械工业的发展推动了对作为机器基础的地基的研究,稍后又因国防工业的需要(抗爆)进一步增加了土动力学的研究内容,1964年砂土液化问题严峻地提出来后,为了抗震工程的需要而进行的研究,就逐渐成为推动土动力学发展的主要动力。

第三节 我国抗震工程的发展

我国的抗震工作历来受到国家的重视,自建国以来可分为三个阶段:

第一阶段:从建国至1966年邢台地震前属初创阶段。这阶段的主要特点是为建好156项国家重点建设项目而进行厂址选择、设防要求及基本烈度的研究,对重点项目的建设起了很大作用。

第二阶段:逐步发展阶段,从1966年邢台地震至1975年海城地震的十年期间属此阶段。由于邢台地区在一年内连续发生了6.5级及7.2级二次强震,影响极大,周总理亲自抓了地震工作,从此,抗震工作进入了一个新阶段,颁布了建筑、水工、公路、铁路、水运工程、给排水及热力工程等方面的一系列抗震设计规范、颁布了我国第一张地震烈度图,加固了一批已有建筑。为加强对抗震工作的领导,在国家建委下及国家科委下分别设立“京津地区抗震办公室”;将抗震工作分为预报及抗震两大系统组织领导。

第三阶段从1976年唐山地震以后是抗震工作的全面发展阶段。除地震局系统外,在建委系统下在各省、市、自治区、各部委都建立了抗震办公室加强管理抗震工作。制定了一整套的抗震标准规范(表1-2)和规章制度。在全国范围内展开了广泛的科研活动。在中国建筑学会与中国地震学会两个学会内分别成立了地震工程学术委员会,在中国振动学会下成立了土动力学学术委员会,这些都大大地推动了我国地震工程学科的发展,至今已召开过三次全国地震工程学术会议,三次土动力学学术会议,还有许多次专题会议与地区学术活动。在地震预报、震害资料积累、液化、规程规范的建立等方面的学术水平已在国际上具有较高的声望。目前,在全国47个重点设防城市中已有不少城市进行了城市抗震防灾规划的工作;如北京、天津、南京、西安、大连、兰州、徐州、烟台、乌鲁木齐、连云港、秦皇岛、长春、吉林、合肥、泉州等,使抗震防灾工作从着眼于单体工程发展到一个城市或一个大型工业基地。

有关抗震和地震防灾方面的立法情况

表 1-4

编号	立 法 的 名 称	种类	代 号	颁发年份
1	抗御地震灾害法			待上报国务院 正 组 编 写
2	城市抗震防灾工作条例			
3	工业与民用建筑抗震设计规范	国标	GBJ 11—89	1989
4	工业与民用建筑抗震鉴定标准	国标	TJ 23—77	1977
5	室外给水排水和煤气热力工程抗震设计规范	国标	TJ 32—78	1979
6	室外给水排水工程设施抗震鉴定标准	国标	GBJ 43—82	1982
7	室外煤气热力工程设施抗震鉴定标准	国标	GBJ 44—82	1982
8	工业设备抗震鉴定标准	国标		1978
9	水工建筑物抗震设计规范	部标	SDJ 10—78	1978
10	水运工程水工建筑物抗震设计规范	部标	J TJ 201—84	1984
11	铁路工程抗震设计规范	部标		1978
12	公路工程抗震设计规范	部标	J TJ 24—77	1977
13	煤炭工业抗震设计规定	部标		1978
14	机械工业单层厂房抗震设计规定	部标	J BJ 12—83	1983
15	化工建筑物抗震设计暂行规定	部标	CD62A1—81	1981
16	多层砖房设置钢筋混凝土构造柱抗震设计与施工规程	部标	J GJ 13—82	1982
17	饱和轻亚粘土液化判别暂行规定	部标		1984
18	工业构筑物抗震鉴定标准	国标		
19	构筑物抗震设计规范	国标		在编
20	核电站抗震设计规范	国标		在编
21	电力设施抗震设计规范	部标		在编
22	道桥抗震设计规范	部标		在编
23	工业与民用建筑抗震加固设计规程	部标		在编
24	“颗粒分析”、“标准贯入”统一试验方法	部标		待审批

参 考 文 献

- [1] 城乡建设环境保护部抗震办公室, 中国地震工程学术委员会, 中国建筑科学研究院工程抗震研究所. 唐山地震十周年—中国抗震防灾论文集 (上), 1986
- [2] 陈寿梁, 魏琰主编. 抗震防灾对策, 河南科学技术出版社, 1988
- [3] 胡聿贤. 地震工程学. 地震出版社, 1988
- [4] 王鍾琦, 谢君斐, 石兆吉. 地震工程地质导论, 地震出版社, 1983

第二章 影响场地地震地面运动的因素

第一节 概 述

在有关地震区的场地与地基基础的各类问题中,地震中的地面运动无疑是一个很重要的方面。本书中提到的“场地”,与《建筑抗震设计规范GJB11-89》的有关规定一致,指大体相当于厂区、居民点和自然村的区域范围。影响一个场地地面运动的因素是多方面的,有较为宏观的因素,也有区域性的因素。对这方面的问题有一个基本的了解,将有利于抗震勘察设计工作。在本章中,我们要介绍一些主要的影响因素。在此之前,先讨论几个基本概念。

某些自然现象,如火山爆发、地面塌陷等都可以引起地震。但就其发生的频繁程度和释放的能量而言,都远不及构造地震重要。

构造地震 是指与地壳中大规模应变有关的地震。一般认为,构造地震的发生是由于地壳中应变能的积聚,导致岩层破裂滑动所造成的。地震中,能量以地震波的形式向外释放,造成震害。较强烈的构造地震一旦发生,影响范围比较广,引起的灾害和次生灾害比较严重,因而成为地震学和地震工程学研究的主要方面。本书所涉及的地震,是指构造地震。

在抗震工作中,我们会经常用到一些与构造地震有关的基本概念,简要说明如下:

震源和震中 五十年代末期以前,地震学家认为,地震是从地下深处一个比较小的岩体内发生的。这个岩体的中心叫做震源,也可称为焦点。震源在地表上的垂直投影位置叫做震中^[1]。

这一概念虽然至今仍被广泛沿用,但有两个方面的问题应该引起我们的注意:

第一,震中位置的测定,是由围绕它的几个地震台分别测出各自距震中的距离后用交汇方法得到的。而这些距离则是通过地震波传播介质的纵、横波速度推算的。因此,震中位置的准确程度,不仅取决于围绕震中的几个地震台的位置分布是否理想,而且与介质波速取值的准确性也有很大关系。事实上,各台站用仪器测出的震中,往往会有8~30km的差距;

第二,用仪器测出的震源和震中,是断层破裂滑动的起点及其在地表的投影,并非能量释放的中心。从以后的章节中我们会了解到,对于小于6级的地震而言,断层破裂较短,断层滑动的起点与能量释放的中心,相距不会太远;大地震时,断层破裂滑动长度很大,有时可达数百公里。在这种情况下,断层滑动起点与能量释放中心之间的距离就相当可观了。

从以下的分析中可以看出,正确判断能量释放中心的位置,对地震反应分析有重要意义。

按照震源深度的不同,又可将地震分为浅源地震、中源地震和深源地震。对应的震源

深度分别为60km以内、60~300km及300km以上。大部分地震的震源深度在5~20km。

宏观震中 宏观震害调查中确定的地面震动最强烈的地点定为宏观震中。但鉴于上面提到的原因,宏观震中与仪器测定的震中不会正好重合。

震源距和震中距 分别指一次地震中,其一特定场地距震源或震中的距离。近年来,越来越多的研究工作者认为,用场地距断层的垂直距离这个概念,往往能更好地表述地震参数的变化和衰减规律。因此,这个垂直距离的概念正日趋广泛地被运用。

震级 地震的震级是一次地震中所释放能量的一种量度,用 M 表示,确定地震的震级,可以有不同的方法。目前使用最广泛的,是C. F. Richter的标准,定义是,震级是指用放大倍数为2,800倍,固有周期为0.8秒,阻尼系数为0.8的标准Wood-Anderson型地震仪,设置在距震中100km处的坚硬地面上,所记录到的最大水平位移(单振幅、以微米计)的普通对数值。对于非标准距离的台站,在不同土质条件下记录到的数值,可以用简单的公式进行修正。除此之外,地震的震级还有其他的表示方法和经验计算方法,这里不再详述。

烈度 地震烈度是衡量一次地震中某特定场地震动强弱的一种尺度。一次地震,只有一个震级,不同场地都可以具有不一样的烈度。尽管地震烈度这个概念的提出和使用,已经有相当长的历史,但人们对它的认识并不一致:有人将它理解为衡量地震宏观震害的一种尺度;有人则理解为表示地震作用大小的一种尺度。从以后的分析中将会认识到,由于建筑物的动力特性等原因,地震作用的大小与震害的严重程度有时并不完全一致。

1980年,我国颁布了新地震烈度表,即〈中国地震烈度表(1980年)〉。这个烈度表采用12个烈度分档,并对烈度作了如下的定义:“地震烈度是地震时一定地点的地面震动强弱程度的尺度,是指该地点范围内的平均水平而言”。这一定义显然是将地震烈度作为地震作用的衡量尺度。正因为如此,新烈度表列入了对应于不同烈度的两个物理指标——峰值水平加速度和峰值水平速度,其中6度至10度的数值见表2-1^[2]。

中国地震烈度表(1980)中的参考物理指标

表 2-1

烈 度	VI	VII	VIII	IX	X
水平向加速度 a (cm/sec^2)	63 (45~89)	125 (90~177)	250 (178~353)	500 (354~707)	1000 (708~1414)
水平向速度 v (cm/sec)	6 (5~9)	13 (10~18)	25 (19~35)	50 (36~71)	100 (72~141)

即便是从直观经验中,我们也可以感觉到,地震地面运动的预测,确实是一个极其复杂的问题,因为它要受各方面因素的影响。已有的研究表明,主要的影响因素,可以分为以下几个类别:

1. 震源特性和机制,包括:

- 断裂运动的量级、方向及历时;
- 断层破裂的规模及能量释放方式;
- 震源深度;

2. 地震波的传播途径及介质,主要有:

- 途径基岩的物理力学性质;

——区域性地质构造；

3. 局部场区的岩土条件，包括：

——土的动力特性；

——覆盖层的厚度及其在空间的分布形态；

——下卧基岩面的形态；

4. 局部场区地形、地貌的影响。

对于上述各类因素的影响程度及其后果，我们在认识的深度上是不同的。对于某些因素的影响，我们可以通过经验统计公式，甚至数值方法来分析；而对于另外一些因素，例如上述 1、2 中的某些方面，认识还有待于进一步的深化。好在到目前为止，预测的结果在很多情况下已为实际震害所证实。本章将对上述因素进行一般性讨论，具体的分析方法，将在以后逐步讨论。

第二节 断层的活动性与震源特性

对于一个特定的场地来说，其周围地区将来可能发生地震的震源位置和特性，对本场地的地面运动的强度和特点会有很大的影响。由于我国已经编制并几经修订了“地震活动区划图”和“地震烈度区划图”，对于一般性的工程，岩土工程师们可以在上述资料和抗震规范的指导下进行工作，用比较简单的方式得到工程场地的设计地震参数。作为一个例子，在图 2-1 中，给出了《中国地震烈度区划图（1990）》对北京地区的基本烈度划分^[3]。按照现行的建筑抗震设计规范的规定，抗震设防烈度一般情况下可采用基本烈度，从而解决了设计参数问题。

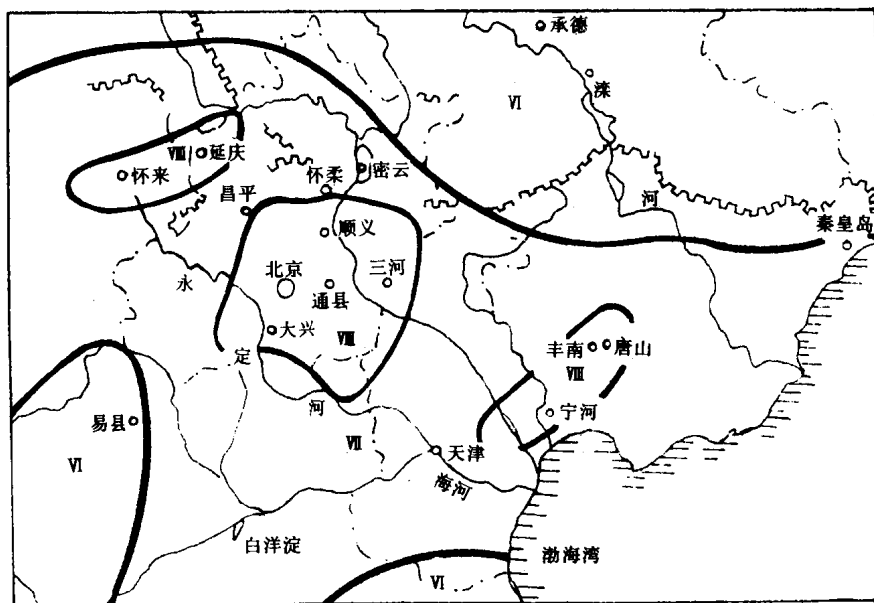


图 2-1 京、津、唐地区基本烈度示意图（据《中国地震烈度区划图（1990）》）

但是，对重大工程或需要专门确定抗震设防区划及地震动参数时，仅利用规范与烈度区

划图是不够的,我们还要对场地及邻近区域的地震地质背景及断层的活动性进行进一步的研究。其目的是判断可能的震源位置,震源特性,震级大小及发生的频度。判断的依据主要来自三个方面:即

1. 邻近地区仪器记录的地震资料;
2. 邻近地区的历史地震及震害文献;
3. 场地周围的地震地质条件和构造运动情况。

就整个世界范围来说,仪器记录的地震资料日渐丰富。美国海洋与大气局1978年编撰出版了《地震数据档案摘要》^[4]。我国的地震记录,特别是中、小地震记录的积累也逐渐增多。从这些中、小地震记录中探索大地震时地面运动的规律,也不失为一种可行的途径。

我国具有丰富的历史地震资料,这些资料为历史地震重复性的研究提供了有用的数据。在调查工作中,对场地周围的历史地震事件应进行尽可能详尽的考证,以核实它们的震中位置、震级大小以及对本场区的影响。

对于地震地质条件和构造运动的研究,应该从收集和分析下列资料入手,即区域地质构造及断层活动性方面的资料,断层活动与大地形变数据以及其他有关地球物理场的资料。在此基础上用分析或类比的方法确定场地的地震活动性。这方面的研究深度应与工程项目的重要性相适应。在本节中仅讨论一般性的原则,一些更深入的研究工作,将在“地震小区划”一章中介绍。

一、断裂活动性的工程评价

在很多情况下,工程场地周围会有若干断裂存在。工程师们面临的第一个问题,便是回答这些断裂是“死”的还是“活”的,即需要对这些断裂的活动性进行工程评价。但是,这种评价是很困难的,即便是在最根本的问题——“活动断裂”定义本身,也存在很多的分歧。

尽管问题十分复杂,在地震学家、地震地质学家和工程师们的长期努力下,起码对以下四个方面的认识基本趋于一致:

1. 不是所有的断层都可能发震;
2. 在所谓“活断层”与“死断层”之间,如果没有时间上的分野,就很难有一个明确的界限。换言之,断层活动性的评价应该与工程项目的重要性和运营年限结合起来;
3. 断层发震的可能性与其活动方式有关。即使是“活断层”,在其整个历史发展过程中,错动与蠕动有时是交替进行的。蠕动是一种缓慢的位移,并无震动伴随发生。因此,从工程评价出发,“活动断层”不一定是“发震断层”。尽管从目前来看,区别二者是困难的,但这种区别毕竟为人们提供了一个十分有意义的研究方向;
4. 断层本身对工程震害的直接影响,长期以来有被夸大的趋势。国内外的多次震害调查表明,对于非发震的活动断层,在布置建筑物时应当避开,但一般只要求建筑物不跨越断层破裂线或破碎带即可,这个要求与工程地质的一般要求也是一致的;即便是发震断层,也只需根据建筑物重要性的不同,避开一定的距离。

对于上述问题的认识,已经不同程度地体现到不同国家和地区的有关规定或建议之中。

对那些在破坏时会产生不可挽回的严重损失,如产生放射性物质污染、剧毒气体扩散、大爆炸之类极其严重后果的建设项目(大体相当于我国现行抗震规范的甲类建筑),断裂活动性的工程评价应当从严。典型的例子是美国原子能委员会1973年制订的标准。该标准认