

建筑结构抗震设计

JIANZHU JIEGOU KANGZHEN SHEJI

总主编 李宏男

主 编 任晓崧

主 审 林 皋



大连理工大学出版社



新世纪普通高等教育土木工程类课程规划教材

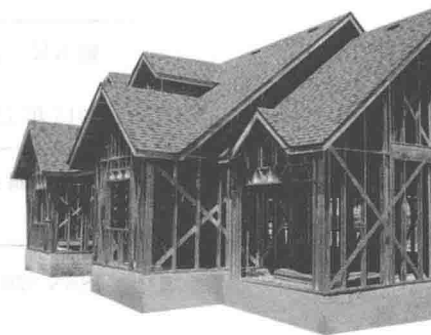
建筑结构抗震设计

JIANZHU JIEGOU KANGZHEN SHEJI

总主编 李宏男

主 编 任晓崧

主 审 林 皋



大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震设计 / 任晓崧主编. — 大连 : 大连理工大学出版社, 2015.12

新世纪普通高等教育土木工程类课程规划教材

ISBN 978-7-5685-0168-2

I. ①建… II. ①任… III. ①建筑结构—抗震设计—高等学校—教材 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 259231 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84708943 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:<http://www.dutp.cn>

大连力佳印务有限公司印刷

大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:10.5 字数:241 千字

印数:1~2000

2015 年 12 月第 1 版

2015 年 12 月第 1 次印刷

责任编辑:王晓历

责任校对:张雪琪

封面设计:张莹

ISBN 978-7-5685-0168-2

定 价:25.00 元

普通高等教育土木工程类课程规划教材编审委员会

主任委员：

李宏男 大连理工大学

副主任委员(按姓氏笔画排序)：

于德湖 青岛理工大学

牛狄涛 西安建筑科技大学

年廷凯 大连理工大学

范 峰 哈尔滨工业大学

赵顺波 华北水利水电大学

贾连光 沈阳建筑大学

韩林海 清华大学

熊海贝 同济大学

薛素铎 北京工业大学

委员(按姓氏笔画排序)：

马海彬 安徽理工大学

王立成 大连理工大学

王海超 山东科技大学

王崇倡 辽宁工程技术大学

王照雯 大连海洋大学

卢文胜 同济大学

司晓文 青岛恒星学院

吕 平 青岛理工大学

朱伟刚 长春工程学院

朱 辉 山东协和学院

任晓崧 同济大学

刘 明 沈阳建筑大学

刘明泉 唐山学院

刘金龙 合肥学院

许成顺 北京工业大学

苏振超	厦门大学
李伙穆	闽南理工学院
李素贞	同济大学
李哲	西安理工大学
李晓克	华北水利水电大学
李帼昌	沈阳建筑大学
何芝仙	安徽工程大学
张玉敏	济南大学
张金生	哈尔滨工业大学
张鑫	山东建筑大学
陈长冰	合肥学院
陈善群	安徽工程大学
苗吉军	青岛理工大学
周广春	哈尔滨工业大学
周东明	青岛理工大学
赵少飞	华北科技学院
赵亚丁	哈尔滨工业大学
赵俭斌	沈阳建筑大学
郝冬雪	东北电力大学
胡晓军	合肥学院
秦力	东北电力大学
贾开武	唐山学院
钱江	同济大学
郭莹	大连理工大学
唐克东	华北水利水电大学
黄丽华	大连理工大学
康洪震	唐山学院
彭小云	天津武警后勤学院
董仕君	河北建筑工程学院
蒋欢军	同济大学
蒋济同	中国海洋大学

前 言

《建筑结构抗震设计》是新世纪普通高等教育教材编审委员会组编的土木工程类课程规划教材之一。

近年来,国内外破坏性地震频发,汶川地震、玉树地震、雅安地震是发生在我们身边的重大事件,已经从各个方面影响着我们的生活。面对严重的房屋结构震害,身为专业技术人员,一方面我们需要反思工程抗震所存在的问题,并应为之付出更多的努力,另一方面如何将结构抗震方面的知识简明扼要地呈现给读者,尤其是那些初涉工程抗震问题的学生,更是我们这些教育工作者应尽的义务。因此,在多年讲授本课程的教学实践基础上,针对技术技能型人才的培养目标,我们按照应用型本科教育的需求编写了此教材,注重结构抗震方面的基本理论和抗震规范的基本设计方法,强调基本概念的阐述,辅之以详细的例题示范,希望能对采用本教材学习本课程的读者有所裨益。

本教材力图在编写中突出作者对于本课程教学特点的认识。第一,强调从地震震害着手认识地震的作用机理,所附的房屋震害照片均为作者在汶川地震后实地收集的第一手材料,从工程应用的角度突出设防烈度的意义,说明与地震烈度之间的关系;第二,从反应谱法理论的认识对抗震分析理论的阐述,利用在正弦激励和实测地震记录作用下的单自由度体系反应说明其特点,同时给出了在不同实测地震记录作用下的反应谱,包括加速度、速度和位移反应谱,以此说明地震反应谱的基本概念和特点;第三,单独编写了抗震概念设计一章,从抗震设防目标、场地与地基、结构布置与选型、非结构构件的设计、抗震新技术等多个方面结合现行规范的内容进行详细叙述,希望读者能对此有较全面、清晰的认识;第四,除现行规范的抗震计算分析内容





外,抗震计算分析部分尚包含钢筋混凝土、砌体和钢结构的抗震验算内容,简明扼要地介绍了进行抗震验算的主要思路;第五,利用两个实例给出了钢筋混凝土框架结构、砌体结构抗震设计的详细过程,包括设计流程、参数选择、构造措施及施工图等,并结合流行的结构设计软件说明其工程应用的全过程。

本教材由长期从事本课程教学工作的教师编写,内容体现了作者的教学经验总结。每章篇头设置学习目标,每章篇尾设置学习小结、思考题、习题等栏目,以帮助读者加深对学习内容的理解。本教材由同济大学任晓崧任主编,同济大学郑晓芬,唐山学院郝婷玥、柳丽霞,上海交通大学岳峰,同济大学建筑设计研究院周彬参与了编写。具体编写分工如下:第1章(认识地震)由任晓崧编写,第2章(结构地震反应分析)由郑晓芬编写,第3章(抗震概念设计)由任晓崧编写,第4章(结构计算分析)由郝婷玥、柳丽霞编写,第5章(结构抗震设计实例)由岳峰、周彬编写,全书由任晓崧统稿并定稿。大连理工大学林皋院士仔细地审阅了书稿,提出了宝贵意见,谨致谢忱。同时,感谢郭雪峰、周球尚、薛慧为全书作了大量诸如习题试算、绘制图表等的烦琐工作。

本教材在编写过程中,参考、借鉴了许多专家、学者的相关著作,谨向各位专家、学者一并表示感谢。

限于水平,书中也许仍有疏漏和不妥之处,敬请专家和读者批评指正,以使教材日臻完善。

编者

2015年12月

所有意见和建议请发往:dutpbk@163.com

欢迎访问教材服务网站:<http://www.dutpbook.com>

联系电话:0411-84708445 84708462



第 1 章 认识地震	1
1.1 频发的地震灾害	1
1.2 地震成因与类型	8
1.3 地震波及其传播	11
1.4 地震仪器观测与震级	15
1.5 地震烈度与典型房屋震害	18
第 2 章 结构地震反应分析	32
2.1 地震反应分析的发展历程	32
2.2 单自由度体系的振动	34
2.3 单自由度体系的地震反应谱	40
2.4 多自由度体系的自由振动	44
2.5 多自由度体系的地震反应与地震作用	51
第 3 章 抗震概念设计	57
3.1 抗震设防目标	57
3.2 场地与地基	63
3.3 结构布置与选型	69
3.4 非结构构件的设计	79
3.5 抗震新技术	81
第 4 章 抗震计算分析	88
4.1 地基基础验算	88
4.2 地震作用计算	91
4.3 二阶段抗震设计要求	101
4.4 钢筋混凝土结构抗震验算要点	105
4.5 砌体结构抗震验算要点	115
4.6 钢结构抗震验算要点	123
4.7 计算例题	128
第 5 章 结构抗震设计实例	135
5.1 结构抗震设计要点	135
5.2 钢筋混凝土框架结构	137
5.3 砌体结构	152
参考文献	159

第1章 认识地震

学习目标

认识地球的构造,了解地震的分布规律、地震的成因和分类;了解地震波传播的规律,掌握地震记录的三要素;掌握震级的基本概念和我国震级的确定参数;掌握烈度的基本概念和我国确定烈度的各项指标,掌握设防烈度与地震烈度的关系;通过典型震害了解地震的破坏机理。

地震是一种自然现象,地球内某处岩层突然破裂导致能量快速释放,从而产生振动,并以波的形式传到地表引起地面的颠簸和摇晃,从而引起了地面的运动,人类将这种地面的运动称为地震。据统计,全世界每年发生的地震约达五百万次,其中绝大多数地震由于发生在地球深处或者它所释放的能量小而使人们难以感觉到,这类地震一般称为无感地震。人们能感觉到的地震,即有感地震,占地震总数的1%左右,其中5级以上的破坏性地震1000余次,能够造成严重破坏的强烈地震则为数更少,平均每年发生十几次。

强烈地震可以在瞬间造成山崩地裂、河流改道、堤坝溃决、桥梁等基础设施毁坏、房屋倒塌等,时常伴有火灾、水灾、山崩、滑坡以及海啸等次生灾害,造成严重的人员伤亡和财产损失,严重影响社会发展,给人类造成灾难。地震的发生也为检验建筑物的抗震能力和现行设计标准的合理性提供了真实的依据。对房屋震害经验的总结始终成为人们进行抗震设计、完善抗震技术、开拓研究领域的重要依据。

1.1 频发的地震灾害

世界范围内地震频发,其中不乏破坏性极强的强烈地震,各国都加强了地震观测,如美国地质调查局给出了24小时内的2.5级以上的地震情况和30天内的强烈地震发生情况,汇总了1977年至今的强烈地震的相关资料等(<http://www.usgs.gov/>);又如中国国家地震局则提供了2001年起中国地区发生的5级以上地震和世界范围内发生的7级以上地震的情况(<http://www.cea.gov.cn/>)。

1.1.1 世界地震活动

破坏性地震并不是均匀地分布于地球的各个部位。根据历史资料,将地震发生的地点和强度在地图上标志出来,从强震的震中分布图(图1-1)上可以看到,在地球上震中的

分布是按照一定规律集中在某些特定的大地构造部位的,总体呈现带状分布特点,其中环太平洋地震带和沿地中海—喜马拉雅的欧亚地震带是最频繁的活跃区域。

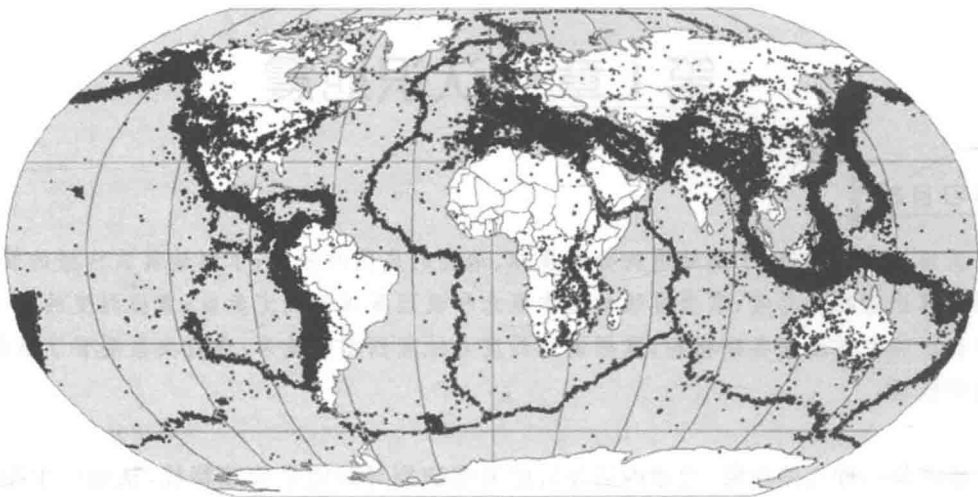


图 1-1 世界范围内强震的震中分布图

环太平洋地震带全长 35 000 km,北起太平洋北部的阿留申群岛,分东西两支沿太平洋东西两岸向南延伸。其东支经美国阿拉斯加、加拿大、美国西海岸、墨西哥、中美洲后直下南美洲。环太平洋地震带构造系基本上是大洋岩石圈与大陆岩石圈相聚和的边缘构造系,地震活动极为频繁和强烈,该地震带是地球上最主要的地震带,全世界约 80% 的浅源地震、90% 的中源地震和几乎所有的深源地震都集中于此。

沿地中海—喜马拉雅的欧亚地震带全长 20 000 km,西起大西洋的亚速尔群岛,经地中海、土耳其、伊朗、帕米尔,沿喜马拉雅山东侧,穿过中南半岛西缘,直到印度尼西亚班达海与环太平洋地震带西侧相接,穿过欧亚两大洲。除环太平洋地震带外几乎所有的中源地震和强度较大的浅源地震都发生在此地震带。

表 1-1 为百年以来发生在中国以外的几次大地震,其中,1923 年日本关东大地震、2004 年印度洋大地震、2010 年海地大地震与智利大地震、2011 年东日本大地震产生了重大的社会影响,为全社会的抗震防灾提出了警示,主要情况简述见表 1-1。

表 1-1 百年以来发生在中国以外的几次大地震

时间	地点	震级	破坏情况
1906 年 4 月 18 日	美国加利福尼亚州旧金山	7.8 级	地震及此后发生的连续 3 天大火导致城区基本被毁,22.5 万人流离失所,保守估计死亡人数在 3 000 人以上
1923 年 9 月 1 日	日本关东	8.1 级	大火燃烧,海啸涌起,洪水泛滥,死亡和失踪者达 15 万人
1960 年 5 月 21 日	智利	8.5 级	引起了横扫太平洋的海啸,巨浪直驱日本,几千人丧生

(续表)

时间	地点	震级	破坏情况
1995 年 1 月 17 日	日本阪神	7.2 级	5 466 人死亡,3 万多人受伤,几十万人无家可归
1999 年 8 月 17 日	土耳其西部地区	7.4 级	3 万人死亡,大批人无家可归
2004 年 12 月 26 日	印度尼西亚苏门答腊岛	8.9 级	引发强烈海啸,造成 20 余万人死亡
2010 年 1 月 12 日	海地	7.3 级	22.3 万人丧生,19.6 万人受伤,产生 30 余万难民
2010 年 2 月 27 日	智利	8.8 级	500 余人死亡,引发强烈海啸
2011 年 3 月 11 日	日本东北部	9.0 级	地震引发海啸,死亡及失踪人数近 3 万人,造成福岛县第一核电站核泄漏事故

1. 旧金山地震

1906 年 4 月 18 日在美国加利福尼亚州旧金山发生了里氏 7.8 级大地震,是美国迄今破坏最严重的一次地震,影响范围超过 100 km²,一方面是房屋大量倒塌所引起的城区的毁灭和大量的人员伤亡,按照事后的保守估计,死亡人数在 3 000 人以上,另一方面是随之而来的地震火灾所造成的巨大财产损失,尽管很大一部分火灾是由地震导致的天然气管道破裂所导致的,还有很多火灾是人为纵火引起的,因为当时保险公司只对火灾损失而非地震损失进行赔偿。这次地震发生后,人类第一次利用科学方法进行了详细研究,也为地震相关学科的发展提供了很好的契机,因为震后收集的大量各类资料是地震资料第一次被清楚地以相片的形式记录下来。调查发现,这次地震是太平洋板块相对于北美洲板块沿圣安德烈斯断层向西北方向滑动造成的,地表可见的断裂线长度超过 400 km,主要以水平方向错动为主,水平错距最大为 7 m;沉积物填满的河谷遭受的地影响比附近的河床岩石地的要大,最严重的震害发生在旧金山海岸的填海造地坍塌的地方,这反映出了不同底层构造对震害程度的影响;通过分析地震地表的变形和应变,里德(H. F. Reid)在 1911 年提出了关于地震源的弹性回跳假说解释地震成因,这个理论一直影响至今。

美国加利福尼亚州在环太平洋地震带上,受圣安德烈斯大断层的影响,地震发生频繁。1989 年 10 月 17 日、2014 年 8 月 24 日美国旧金山附近均发生了里氏 6 级以上强烈地震,尽管旧金山大地震发生以后工程抗震措施和防灾预案逐渐完善并细化,这两次地震还是给正常社会和生活秩序带来了很大的影响,也造成了严重的震害。需要补充的是,在 1994 年 1 月 17 日加利福尼亚州北岭发生里氏 6.6 级地震以后不久,加利福尼亚州颁布了《地震保险法案》,成立了加利福尼亚州地震保险局,采用公营并私营的两便运营模式,以再保险、同业基金、基金免税等方式扩大保险基金的渠道,开创和拓展了地震保险的减灾新做法。

2. 1923 年日本关东大地震

关东大地震于 1923 年 9 月 1 日发生在日本关东地区,因为当时东京的地震仪已经破



坏,只能根据其他地区的地震仪记录进行推算,经日本鹿岛公司技术研究所等单位在 20 世纪 90 年代的研究结果,震级应为里氏 8.1 级。地震造成 15 万人丧生,200 多万人无家可归。地震发生时正值中午,地震导致炉倒灶翻、煤气管道破坏,从而引起火焰四溅,加上东京、横滨两大城市人口稠密、木结构房屋众多,从而形成严重的次生火灾,大大加重了地震震害,东京烧失面积约 38.3 km^2 ,85% 的房屋毁于一旦,横滨烧失面积约 9.5 km^2 ,96% 的房屋被夷为平地。地震,尤其是地震引发的次生火灾导致的人员伤亡和财产损失是前所未有的。在以后的复兴计划和城市建设中,日本特别注意城市避难场所的设置、河川公园防火带的建设、各社区防灾据点的规划等,并且逐步形成了比较健全和完善的法制体系。

3. 2004 年印度洋大地震

2004 年印度洋大地震发生于 2004 年 12 月 26 日,震中位于印尼苏门答腊以北的海底,震源深度 30 km,震级为里氏 8.9 级。印度洋大地震引发高达 30 m 的海啸,波及范围远至波斯湾的阿曼、非洲东岸的索马里及毛里求斯等国,地震及震后海啸对东南亚及南亚地区造成巨大伤亡,20 余万人死亡,超过 50 万人受伤。海啸是由地震引起的海底隆起和下陷所致。海底突然变形,致使从海底到海面的海水整体发生大的涌动,形成海啸袭击沿岸地区。由于海啸是海水整体移动,因而和通常的大浪相比破坏力要大得多。这次大地震引起的海啸所造成的巨大伤亡,与当地的环境保护不力分不开,受灾打击最严重的泰国和斯里兰卡都有因为过度开发而破坏海岸生态的记录。此次地震以后,环太平洋各国加快了海啸预警系统的建立与联动,对以后的抗震减灾,尤其是减少海啸的破坏起到了很好的作用。

4. 2010 年海地大地震与智利大地震

海地于 2010 年 1 月 12 日发生里氏 7.3 级大地震,震源深度 10 km,震中烈度 10 度。海地所处的伊斯帕尼奥拉岛为地震活跃地区,海地地震发生在恩里基洛-芭蕉园断层的左旋走向断层,这一断层的类型与美国加利福尼亚州的圣安德烈斯断层相似,它每年要承受约 7 mm 的板块移动。首都太子港及全国大部分地区受灾情况严重,造成 22.3 万人死亡,19.6 万人受伤。此后 1 个多月,2 月 11 日和 2 月 27 日,智利康塞普西翁先后发生了里氏 6.7 级和 8.8 级两次地震。尽管这次智利地震释放的能量,几乎相当于海地太子港地震的 500 倍,但地震给智利造成的灾情远没有海地严重,500 余人死亡。这主要得益于 1960 年在智利发生大地震以后,智利对建筑有着完善的抗震规范和严格的质量标准,且该国有比较完善的应急响应机制,居民也有很强的震后逃生意识,虽然很多建筑受到损害,但并没有完全倒塌,避免了很严重的人员伤亡。1960 年 5 月 21 日~6 月 22 日智利曾发生了 20 世纪震级最大的震群型地震,该大地震群由七次 7 级以上地震组成,其中 8 级以上地震两次,最大震级为里氏 8.5 级。海地地震和智利地震成为建筑抗震的正反面典型案例。

5. 2011 年东日本大地震

日本地处亚欧板块和太平洋板块交界处,一直是一个地震频发的国家。1995 年 1 月



17日的阪神大地震震级为里氏7.2级,是在关东大地震之后20世纪日本经历的最严重地震,由于震中处于人口密集、建筑林立的市区,死亡及失踪人数达6 437人,经济损失达1 000亿美元。2011年3月11日,日本东北部海域发生里氏9.0级地震并引发海啸,震源深度为海下10 km。东京有强烈震感。由于这次地震缘于板块间垂直运动而非水平运动,因此触发海啸,对日本一些海岸造成严重破坏,同时影响到太平洋沿岸的大部分地区。日本列岛部分沉没,约有443 km²的领土在地震和海啸后沉入水中。地震造成约15 884人遇难,2 633人下落不明。地震发生次日,日本福岛县第一核电站1号机组爆炸后释放大核辐射,这引发了核泄漏事故的严重次生灾害,核泄漏的影响至今仍未完全消除。尽管日本对地震有着较完善的防御体系,但2011年东日本大地震还是提醒人类要高度重视地震可能带来的潜在巨大次生灾害的影响。

1.1.2 中国地震活动

根据板块构造学说,中国位于亚欧板块的东南端,东接太平洋板块,南邻印澳板块,受到欧洲向东、太平洋向西、印度洋向北的板块推力影响,是世界上地震较多的国家之一。我国很早就有了关于地震及其影响的记载,最早见于春秋时期的《竹书纪年》。

根据历史资料,中国强震震中大致分布在八个带状区域内,其中台湾、东北地区一小部属于受环太平洋地震带影响的区域,中印交界区域的喜马拉雅地震带属于欧亚地震带,此外还有华北地震带、东南沿海地震带、南北地震带、西北地震带、青藏高原地震带、滇西地震带等,强震的发生均与活动断裂构造有很大的相关性,大部分都有强度大、频度强的特点,1976年的唐山地震、2008年的汶川地震等均属于典型的板内地震。中国强震的震中分布和地震带分布图如图1-2所示。由此可见,中国地震活动分布范围广,位于地震区的大、中城市多,由于地震的震源浅(绝大部分深度在30 km以内)、强度大,我国的抗震防灾工作所面临的形势十分严峻。



下面简述一下 20 世纪以来对我国影响较大的几次强烈地震的主要情况。

1. 1920 年海原地震

1920 年 12 月 16 日,中国宁夏南部海原县和固原县(当时属甘肃省管辖)一带发生里氏 8.5 级特大地震,震中位于海原县县城以西哨马营和大沟门之间,震源深度 17 km,这就是海原地震。这次地震共造成 28.82 万人死亡,约 30 万人受伤。震中烈度 12 度,这是人类有史以来最高烈度的地震。这是典型的板块内部大地震,强烈的震动持续了 10 余分钟,当时世界上有 96 个地震台都记录到了这场地震,余震维持 3 年时间,被称为环球大震。海原地震的震中烈度之所以被定为 12 度,一个重要原因是在震中和极震区范围内,出现了普遍而强烈的构造变形带和各种各样规模巨大的其他毁灭现象,其中包括各种各样的断层,此外还有众多的地裂缝、地面鼓包或隆起、滑坡或崩塌等。这些地表形变遗迹,历经几十年沧桑仍保留完好。党家岔堰湖是宁夏最大的堰塞湖,一直保留至今,目前已有较完整的生物生态链,成为当地一个景点。

海原地震发生以后,引起了当时国民政府的高度关注,不仅派员外出学习并筹建地震台,而且组织科研人员现场考察并提交研究报告。可以这样说,海原地震开启了现代中国的地震观测与研究工作的。

2. 1966 年邢台地震

邢台地震由两次大地震组成,1966 年 3 月 8 日,河北省邢台专区隆尧县发生震级为里氏 6.8 级的大地震,震中烈度 9 度;1966 年 3 月 22 日,河北省邢台专区宁晋县发生震级为里氏 7.2 级的大地震,震中烈度 10 度。两次地震共死亡 8 064 人,伤 38 000 人。该震区在构造上属于邢台地堑区,它东邻沧县隆起,北接冀中凹陷,西界太行隆起,南邻内黄隆起。这次地震造成了严重的地面破坏,以地裂缝和喷砂冒水为主。我国在新中国成立后不久就组织专业技术人员参考苏联规范编制《地震区建筑抗震设计规范草案》,形成了 1959 年和 1964 年两个不同的版本,邢台地震的发生加速了这项工作的进程,1974 年我国颁布了《工业与民用建筑抗震设计规范(试行)》(TJ 11-74)。

3. 1976 年唐山地震

1976 年 7 月 28 日,中国河北省唐山、丰南一带发生了震级为里氏 7.8 级、震中烈度 11 度、震源深度 23 km 的强烈地震。地震持续约 12 秒。有感范围长达 14 个省、市、自治区,其中北京市和天津市受到严重波及。这次地震发生在工矿企业集中、人口稠密的唐山市,极震区内工矿设施大部分毁坏,整个城市顷刻间夷为平地,全市交通、通信、供水、供电中断。唐山地震没有小规模前震,且发生于凌晨人们熟睡之时,使得绝大部分人毫无防备,造成 242 769 人死亡,重伤 16.4 万人。直接经济损失 100 亿元,震后重建费用 100 亿元。1986 年 7 月 28 日,1 万多名唐山各界人士聚集在纪念碑广场举行唐山抗震 10 周年纪念大会,正式宣告唐山重建基本结束。

当年唐山未实施抗震设防,尽管大量建筑建造时间不长,也没能避免倒塌以致酿成大灾,其中的失误主要来源于对地震危险性估计不足。唐山地震,让人类更深刻地认识地



球,给全世界的地震研究者们提供了一个痛苦但又极具价值的天然实验场。这次地震引起了全社会对抗震问题的重视,在科研人员、工程技术人员等的不懈努力之下,1978年我国正式颁布了第一本抗震规范,即《工业与民用建筑抗震设计规范》(TJ 11-78),大家所熟知的砌体结构构造柱、圈梁等内容均写入抗震规范,这对于工程抗震起到了很好的指导作用。

4. 1988 年澜沧—耿马地震

1988年11月6日,澜沧—耿马发生里氏7.6级地震和里氏7.2级地震,震中烈度9度。这次地震云南全省均有震感,20个县(市)遭到不同程度破坏,受灾面积达53 440 km²,受灾人数250万。超过7度破坏的总面积约为4 500 km²,死亡748人,重伤3 759人,轻伤3 992人,直接经济损失27.5亿元。这次地震属于主震-余震型,主震震级大,震源深度浅,破坏性强;强余震频繁、密集、持续时间长。地震造成地裂缝、山体滑坡、滑塌和土的液化;加之震区特定的地貌及地质构造条件,使这次地震波及面广,受灾面积大,灾害性强,高烈度异常点多,震害叠加效应极为显著。这是在1976年唐山地震和1978年首本抗震规范颁布以后发生的一次强烈地震,我国组织了大量的专业技术人员开展了较全面的震害调查与分析,取得了翔实的震害资料,为抗震规范的修订提供了大量基础资料。

5. 1999 年台湾集集地震

台湾集集地震,也被称为9·21大地震,是20世纪末台湾最大的地震,发生时间为1999年9月21日,震中位于台湾南投县集集镇,车笼埔断层上面。地震震级为里氏7.6级,震源深度8 km。此次地震原因是车笼埔断层的错动,并在地表造成长达105 km的断裂带。全岛均有明显震感,全过程持续102秒。死亡2 321人,受伤8 000余人,10万余人无家可归,损失近百亿美元。台湾岛位于亚欧大陆板块和菲律宾海板块的交界处,属于环太平洋火山的一部分,地震频繁。菲律宾海板块自新生代以来一直朝西北移动,和台湾的生成有密不可分的关系,但每年8.2 cm的移动速度,使东部花东纵谷、中央山脉、西部麓山带以及平原区形成一系列的断层。这次地震,让社会各界认识到地震的威力,开始深思防震的重要性,并探讨建筑物的抗震措施。

6. 2008 年汶川地震

2008年5月12日,四川省阿坝州汶川县发生里氏8.0级地震,此后发生了多次强烈余震。这是中华人民共和国成立以来破坏力最大的地震,也是唐山大地震后伤亡最惨重的地震。汶川地震导致大量房屋倒塌、破坏,同时引起山体滑坡、滚石、道路破坏、堰塞湖等地质灾害和次生灾害,如唐家山堰塞湖是汶川大地震后因山体滑坡、阻塞河道形成的最大堰塞湖;同时造成大量人员伤亡、财产损失,居民无家可归,学生无法正常上课。此次地震震感波及全国绝大部分地区乃至国外,影响范围包括震中50 km范围内的县城和200 km范围内的大中城市,造成近9万人遇难或失踪,受伤人数达37万,4 600万人口受到严重影响。

本次地震发生在青藏高原东侧边缘的龙门山断裂带上,发震构造为龙门山中央断层

带,在挤压应力作用下,由南向北东逆冲运动,为逆冲、右旋、挤压型断层地震,发震方式特殊,断裂带最大垂直位移达 9 m,地震强烈波动时间 100 秒,为千年不遇的特大地震。汶川地震具有震级大、烈度高(震中烈度 11 度)、震源深度浅(约 14 km)、破裂长度长(达 240 km)等特点,震害面积高达 440 000 km²,远比唐山地震大得多。

汶川地震造成的直接经济损失约 8 452 亿元人民币,主要分为三类,第一类是人员伤亡,第二类是财产损失,第三类是对自然环境的破坏,这也是最近国人印象极为深刻的一次地震。自 2009 年起,每年 5 月 12 日被定为全国防灾减灾日,这有利于唤起社会各界对防灾减灾工作的高度关注,有利于增强全社会的防灾减灾意识,有利于推动全民防灾减灾知识和避灾自救技能的普及推广,有利于提高各级综合减灾的能力。汶川地震发生以后,与抗震相关的规范及规程再次修订,我国政府根据实际调查的震害资料提高了抗震设防要求,以适应社会经济发展的需求。

7. 2011 年玉树地震

2011 年 4 月 14 日上午 7 时 49 分,青海省玉树藏族自治州玉树县发生两次地震,最高震级为里氏 7.1 级,地震震中位于县城附近,震源深度达 14 km,属于特大浅表地震。玉树地震造成 2 698 人遇难,270 人失踪,12 000 多人受伤。居民住房大量倒塌,学校、医院等公共服务设施严重损毁,部分公路沉陷、桥梁坍塌,供电、供水、通信设施遭到破坏。农牧业生产设施受损,牲畜大量死亡,商贸、旅游、金融、加工企业损失严重。山体滑坡崩塌,生态环境受到严重威胁。玉树地震波及范围主要涉及青海玉树和四川甘孜两个自治州,受灾面积 35 862 km²,受灾人口 246 842 人。此次地震引起了党和国家的高度重视,继汶川地震举行全国哀悼活动后,于 2011 年 4 月 21 日再次举行全国哀悼活动。

8. 2013 年雅安地震

2013 年 4 月 20 日 8 时 02 分,四川省雅安市芦山县发生里氏 7.0 级地震,震源深度 13 km,震中烈度 9 度,震中距成都约 100 km。成都、重庆及陕西等地均有较强震感。受灾人口 152 万,受灾范围约 18 682 km²;死亡 200 余人,受伤 1 万多人,震害总体不算很严重。芦山县位于龙门山前缘构造带南段,地震构造仍为龙门山断裂带,其破裂特征与汶川地震非常相似,但不是汶川地震的余震。这次地震的发生,为 2008 年汶川地震发生以后所实施已有建筑抗震加固和新建建筑抗震设计提供了一次真实的工程检验机会。

1.2 地震成因与类型

1.2.1 地球构造

地球是一个近似于球体的椭球体,平均半径约 6 370 km,赤道半径约 6 378 km,两极半径约 6 357 km。从物质成分和构造特征来划分,地球可分为三大部分:地壳、地幔和地

核,地球分层结构及地壳剖面如图 1-3 所示。

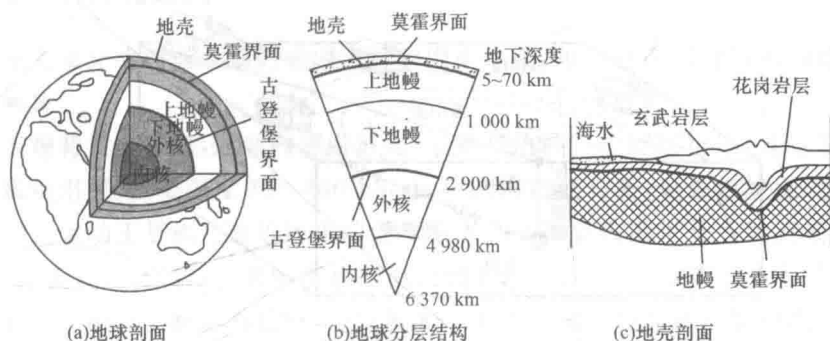


图 1-3 地球分层结构及地壳剖面

1. 地壳

地壳是地球外表面的一层很薄的外壳,它由各种不均匀的岩石组成。地壳表面为沉积层,陆地下面主要有花岗岩层和玄武岩层,海洋下面的地壳一般只有玄武岩层。地壳的下界称为莫霍界面,是一个地震波传播速度发生急剧变化的不连续面。地壳的厚度在全球变化很大,各处厚薄相差也很大,最厚处约 70 km,最薄处约 5 km。

2. 地幔

地壳以下到深度约 2 900 km 的古登堡界面为止的部分称为地幔,约占地球体积的 5/6,也是地球内部质量最大的部分。地幔主要由质地坚硬的橄榄岩组成,这种物质具有黏弹性。地幔上部存在一个厚度约几千米的软流层,可能是岩浆的发源地。由于温度和压力分布不均匀,就发生了地幔内部的物质对流运动。

3. 地核

地幔下部,即古登堡界面以下直到地心的部分为地核,平均厚度约 3 400 km。地核又可分为外核和内核,其主要构成物质是镍和铁,温度高达 4 000~5 000 ℃,地核中心处的内压力可达 36 000 MPa。据推测,外核可能是液态,内核可能是固态。

1.2.2 地震术语及类型

1. 地震术语

震源,即地震波从地球内发出的最初部位,一般是地球内发生岩层断裂、错动的地方。地震的发生是与地质上的活动断裂带相联系的,震源是有一定范围的,有时甚至是很大的范围,前面所述的大地震均有此特点,但地震学里常常把它当作一个点来处理,这是因为地震学所考虑的是大范围的问题,震源相对来说很小,一般可以看作一个点。震源在地表的投影叫震中,地面某处距震中的距离即为震中距。震源至地面的垂直距离叫震源深度。震中区或极震区,是指震中附近的区域,一般为地面振动程度最厉害、破坏最严重的区域;将地面破坏程度相近的点连成曲线,就是等震线,等震线是规则的理想的同心圆,由于地形地貌的差异、地面建筑等的影响,等震线多为不规则的封闭曲线。震源、震中、震源深度