



黑龙江省“十四五”职业教育规划教材

职业教育土木工程类项目导向型·立体化新形态教材

建筑抗震

(第3版)

李和玉 张 俏 主 编

JIANZHU
KANGZHEN

项目导向

贯彻专业学习新理念

教学微课

随时随地自主学习

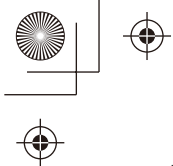
资源丰富

尊享互联网教学体验



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS





策划编辑：李艳文 范业婷
责任编辑：付中英 李佳莹

职业教育土木工程类项目导向型·立体化新形态教材

建筑工程经济（第4版）
建筑工程制图与识图（第4版）
工程测量
安装工程计量与计价
基础工程施工
土木工程测量
建筑装饰工程概预算
理论力学
土木工程材料
土木工程制图
流体力学
建筑工程工程量清单计价
建筑施工组织与进度控制
土木工程力学
建筑施工测量放线
材料力学
建筑给水排水工程
建筑装饰制图与识图
建筑识图与房屋构造
建筑工程资料编制与管理
钢结构
中外建筑史
工程招投标与合同管理（第2版）
建筑施工组织（第2版）
建筑材料（第2版）

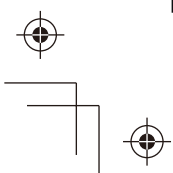
建筑法规（第2版）
建筑力学与结构（第2版）
建筑抗震（第3版）
混凝土结构与砌体结构（第2版）
建筑工程资料管理（第2版）
建筑力学（第2版）
房屋建筑学（第2版）
建筑构造（第2版）
建筑结构（第2版）
建设工程项目管理（第2版）
建筑施工技术（第2版）
钢结构制作与安装（第2版）
建筑工程定额与预算（第2版）
建筑材料与检测（第2版）
建筑工程计量与计价（第2版）
建筑工程测量（第2版）
建筑工程概预算（第2版）
建筑工程质量与安全管理（第2版）
工程造价管理（第2版）
建筑设备（第2版）
建筑设备安装工艺与识图（第2版）
安装工程预算（第3版）
建筑构造与识图（第2版）
建筑CAD（第2版）
工程监理（第2版）



ISBN 978-7-5767-1127-1



定价：49.80元

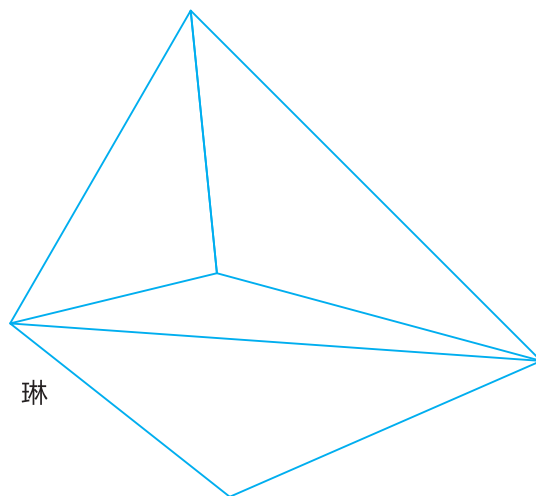


 黑龙江省“十四五”职业教育规划教材
职业教育土木工程类项目导向型·立体化新形态教材

建筑抗震

(第3版)

主 编 李和玉 张 俏
副主编 昌永红 张雪波 刘 洋 柴 雪 林 琳
编 者 刘 擎 肖 蕊



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

本教材是土建类专业系列教材之一,主要包括:绪论,场地选择与地基处理,建筑结构地震反应及抗震计算,多层砌体结构的抗震设计,多高层钢筋混凝土结构房屋抗震设计及其构造措施,多高层钢结构建筑的抗震设计与抗震措施,单层工业厂房抗震设计与构造措施,高耸结构构筑物抗震设计与构造措施,桥梁结构建筑抗震设计与构造措施,建筑结构隔震、减震与振动控制原理及应用。

本教材既适用于建筑工程技术、道路与桥梁工程技术、市政工程技术等专业的师生使用,也可作为注册结构工程师继续教育参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑抗震/李和玉,张俏主编. --3 版. --哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2024. 11.(2025.10 重印) --
ISBN 978-7-5767-1127-1

I .TU352.104

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025J6Q888 号

策划编辑 李艳文 范业婷

责任编辑 付中英 李佳莹

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 天津市蓟县宏图印务有限公司

开 本 850 毫米×1 092 毫米 1/16 印张 18.5 字数 506 千字

版 次 2014 年 1 月第 1 版 2024 年 11 月第 3 版 2025 年 10 月第 2 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5767-1127-1

定 价 49.80 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)



前言

为适应职业教育发展形势的需要，根据教育部最新制定的《高等职业学校专业教学标准》土木建筑大类课程要求，并顺应我国建筑业发展战略的调整，结合编者长期从事建筑工程技术专业建筑结构课程教学的实践经验，充分吸取高职教育建筑工程技术专业建筑结构课程改革的经验，编者团队在《建筑抗震（第2版）》的基础上进行了修订。

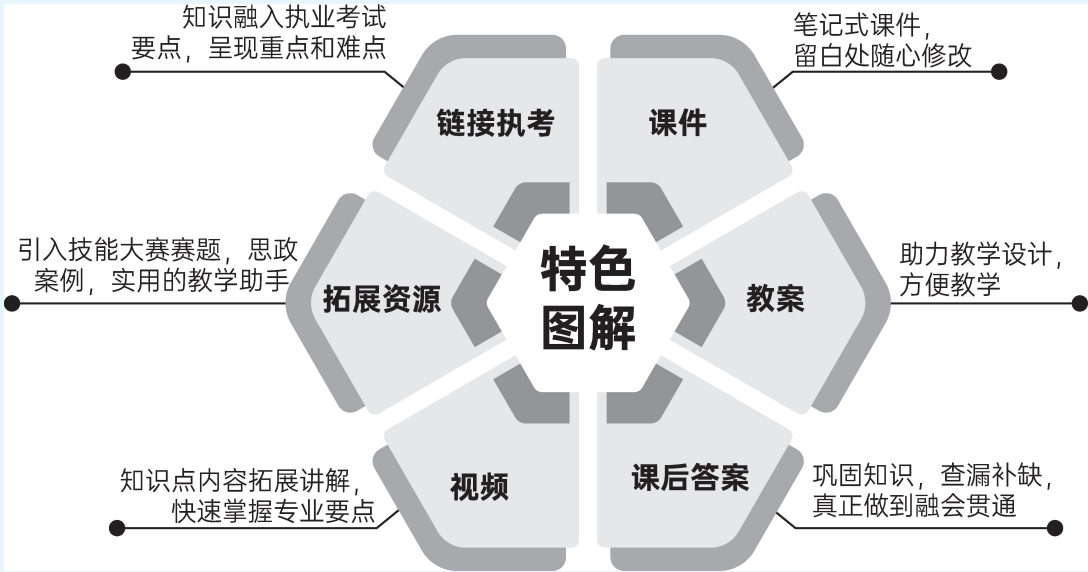
本教材的编写立意是：注重与高职高专学生的知识、能力相适应，体现以应用为目的，以理论必需、够用为度，尽量与生产生活实践相结合，突出对学生分析解决实际工程问题的操作能力和工程职业技术思维能力的培养。在编写过程中，引进现代职业教育大师姜大源提倡的工作过程系统化的执教理念，将生动的、系统的工程项目和任务作为载体引入课程，并以国家现行行业标准为准绳，以现行行业数字化智能建造软件为依托，实现新时代的职业教育教材改革，力求缩小理论与实践的空间、时间距离，从而提高教学效率。

近年来，新型建筑结构体系与智能抗震技术快速发展，我国《建设工程抗震管理条例》的颁布实施，标志着抗震工程已从“被动防灾”迈向“主动控灾”的新阶段。为回应行业变革与教学实践需求，本教材在保留经典理论框架的基础上，进行了系统性重构与创新性拓展，力求打造一本“扎根中国实践、融合数字技术、贯穿工程思维”的新时代教材。

本教材全部案例采用中国工程实践，强化学生对中国规范体系与工程场景的理解；将技术演进与工程师社会责任有机结合，实现知识传授与价值塑造的统一；将抽象的抗震概念具象化，构建“理论—规范—案例”三维知识链，符合新一代学生认知习惯。本教材内容涵盖了建筑抗震课程的基本要求，共分9个项目模块，各项目模块遵循从易到难、从基础理论原理到具体的工程实践应用的顺序编写，在保证工作过程系统化的同时也尽量保证知识理论体系的系统化。为实现课证融通、岗课赛证，每个项目后都设置了有关的职业技术资格考试真题或模拟试题，并可扫码获取答案及学习线上其他资源。



本书特色



本教材由黑龙江林业职业技术学院李和玉作为主编负责组织编写, 中天建设集团有限公司东北分公司韩正恩、沈阳建筑大学徐春一负责主审。编写人员具体分工为: 李和玉编写绪论与项目 9; 辽宁城市建设职业技术学院张俏编写项目 6; 辽宁建筑职业学院昌永红编写项目 3; 基准方中建筑设计股份有限公司张雪波编写项目 4; 西安工程大学刘洋编写项目 5 与项目 8; 淮南联合大学柴雪编写项目 7; 黎明职业大学林琳编写项目 2; 黑龙江林业职业技术学院刘擎编写项目 1; 辽宁城市建设职业技术学院肖蕊辅助项目 6 的编写, 负责课程线上学习资源建设。

本教材既适用于建筑工程技术、道路与桥梁工程技术、市政工程技术等专业的师生使用, 也可作为注册结构工程师继续教育参考用书。

谨以此教材致敬中国抗震工程师群体, 以专业守护生命, 以创新定义安全。由于编者的水平有限, 书中有不足之处在所难免, 恳请读者批评指正。

编者



目录 Contents

绪 论

任务 0.1 建筑抗震发展现状及前景	1
任务 0.2 建筑抗震基础知识	5
任务 0.3 本教材的特点	12
任务 0.4 建筑抗震课程的内容、教学方法	13
项目检测	14

项目 1 场地选择与地基处理

任务 1.1 场地选择	16
任务 1.2 地基抗震验算	18
任务 1.3 桩基	23
项目检测	25
课证融通	25

项目 2 建筑结构地震反应及抗震计算

任务 2.1 体系地震反应概述	27
任务 2.2 单质点弹性体系的水平地震反应	29
任务 2.3 地震反应谱与设计反应谱	30
任务 2.4 多自由度弹性体系的地震反应计算	33

任务 2.5 竖向地震作用	37
任务 2.6 结构的弹塑性地震反应	38
任务 2.7 结构的抗震验算	42
任务 2.8 建筑的隔震与减震	49
项目检测	51
课证融通	52

项目 3 多层砌体结构的抗震设计

任务 3.1 多层砌体结构的震害特点	56
任务 3.2 多层砌体结构的平面与立面设计	61
任务 3.3 多层砌体结构的抗震计算	65
任务 3.4 多层砌体结构的抗震构造措施	70
任务 3.5 底部框架-抗震墙上部砌体结构房屋的抗震设计	76
项目检测	82
课证融通	82

项目 4 多高层钢筋混凝土结构房屋抗震设计及其构造措施

任务 4.1 多高层钢筋混凝土结构体系及布置	85
任务 4.2 地震作用下框架结构的内力和位移计算	93
任务 4.3 地震作用下剪力墙结构的内力和位移计算	99
任务 4.4 地震作用下框架-剪力墙结构的内力和位移计算	111

任务 4.5	框架截面抗震设计及构造措施	121
任务 4.6	剪力墙截面抗震设计及构造措施	134
项目检测		140
课证融通		140

项目 5 多高层钢结构建筑的抗震设计与抗震措施

任务 5.1	钢结构震害现象及其分析	148
任务 5.2	多高层钢结构的平面与立面设计	152
任务 5.3	多高层钢结构的抗震计算要求	156
任务 5.4	多高层钢结构的抗震构造措施	166
项目检测		175
课证融通		175

项目 6 单层工业厂房抗震设计与构造措施

任务 6.1	单层工业厂房震害分析	178
任务 6.2	单层工业厂房抗震设计的一般规定	181
任务 6.3	单层工业厂房的抗震计算方法	185
任务 6.4	单层工业厂房的抗震构造措施	203
项目检测		211

项目 7 高耸结构构筑物抗震设计与构造措施

任务 7.1	高耸结构的概念及种类	214
--------	------------	-----

任务 7.2	高耸结构的抗震设计基本原理	215
任务 7.3	风力发电塔架的抗震设计计算方法及其构造措施	217
任务 7.4	烟囱的抗震设计计算方法及其构造措施	225
项目检测		231

项目 8 桥梁结构建筑抗震设计与构造措施

任务 8.1	桥梁抗震概述	232
任务 8.2	桥梁抗震基本要求	238
任务 8.3	桥梁场地、地基与基础	245
任务 8.4	地震作用	248
任务 8.5	地震作用效应计算	252
任务 8.6	桥梁构造设计	259
任务 8.7	桥梁减隔震设计	262
任务 8.8	桥梁抗震措施	265
项目检测		271
课证融通		271

项目 9 建筑结构隔震、减震与振动控制原理及应用

任务 9.1	建筑结构隔震、减震设计思想及其发展概述	274
任务 9.2	房屋隔震设计	275
任务 9.3	房屋消能减震设计	280
任务 9.4	建筑结构振动主动控制初步原理	284
项目检测		285
课证融通		286

参考文献	289
------	-----



【知识目标】

- 1.掌握地震成因、震级和烈度,地震设防烈度,场地基本概念。
- 2.了解地震的破坏作用,明确抗震设防目标,以及抗震设计的基本要求。
- 3.掌握工程抗震设防目标、建筑物重要性分类与设防标准。
- 4.掌握建筑抗震设计的总体要求、结构的延性、抗震多道防线等概念设计的理念。

【能力目标】

- 1.能够计算地震的震级和烈度、地震设防烈度。
- 2.能够根据建筑类别判定建筑的工程抗震设防目标与设防标准。
- 3.能够进行建筑的抗震概念设计(总体要求、结构的延性、多道防线、场地选择)。

【素质目标】

- 1.培养以人民为中心的精神品质,坚持人民至上、生命至上。
- 2.弘扬社会主义核心价值观。
- 3.培养家国情怀和使命意识,坚定技能报国的信念。
- 4.培养爱岗敬业的劳模精神。
- 5.培养遵纪守法、心系祖国、爱岗敬业、对国家与人民的安全负责的法律意识和思想道德素质。

任务 0.1 建筑抗震发展现状及前景

地震是地球地壳运动在某些阶段发生急剧变化时的一种自然现象,也是一种突发式的自然灾害现象。据统计,全世界每年发生的地震约达 500 万次,其中绝大多数地震由于发生在地球深处或所释放的能量较小而难以被人们感觉到;人们能感觉到的地震仅占地震总量的 1% 左右,但这些地震却给人类带来了无可挽回的巨大生命和财产损失。据对世界上 130 次伤亡巨大的地震震害资料所做的统计,95% 以上的伤亡是因为无抗震能力或抗震能力较低的建筑物倒塌而造成的。我国是一个地震灾害多发的国家,据中国地震局的统计,仅 2008 年,我国 5 级及以上的地震就有 97 起,其中,2008 年 5 月 12 日在四川省汶川县发生的特大地震,是新中国成立以来破坏最强、波及范围最大的一次地震,这起历史罕见的地震灾害造

成了巨大破坏。所以加强建筑物的抗震防灾工作尤为重要。

1.房屋建筑概念设计理念的加强

在一次次的地震灾害中,人们逐渐认识到了一些建筑抗震的基本概念,把握了建筑地震反应的发生、发展规律,经过了积累和沉淀便形成了常识,从而在大的方向上指导人类如何建造抗震能力较强的房屋,这就是概念设计。例如,建筑设计时建筑的自振频率应尽量避免与场地的特征周期相同,因为这样做可以最大限度避免地面和建筑物发生共振。

在地震作用下,奇形怪状的建筑容易倾覆,所以人们学会了规规矩矩地建房子,理论及实践的分析结果都表明:在平面和立面上四平八稳的房子的抗震能力更强;地震作用下水平地震波的破坏力比竖向地震波的破坏力明显。水平运动会使建筑物产生倾覆力矩,并且在结构的竖向构件中引起很大的轴力,这些都与建筑物高度的二次方成正比,故随建筑结构高度的增加,建筑物水平惯性力产生的破坏越来越严重。建筑物越高这种破坏力就越大,所以在房屋的抗震设计时主要考虑水平向的地震作用。

2.保障抗震能力的建筑设计及施工方面各项法规的完善

建筑抗震规范实际上是各国建筑抗震不同阶段抗震经验、技术权威性的方针、政策的总结,是指导建筑抗震设计(包括结构动力计算、结构抗震措施,以及地基抗震等主要内容)的法定性文件,它既反映了各个国家经济与建设的时代水平,又反映了各个国家的具体抗震实践经验。它受抗震有关科学理论的引导,向技术经济合理性的方向发展,又有坚定的工程实践基础,把建筑工程的安全性放在首位,容不得半点冒险和不实。正是基于这种认识,现代规范中的条文有的被列为强制性条文,有的条文中用了“严禁、不得、不许、不宜”等限定词体现不同程度的政策限制性,使用“必须、应该、宜于、可以”等用语体现不同程度的政策灵活性。

建筑抗震设计规范对其他规范、规程具有统领作用,为人民生命财产的安全提供更强有力的保障。近几年来我国政府对建筑抗震类规范进行了大规模的调整改动,《建筑与市政工程抗震通用规范》(GB 55002—2021)出台后,《建筑抗震设计标准(2024年版)》(GB/T 50011—2010)等规范相继更新出台,这次规范大调整融进了国内外最先的建筑抗震设计理念和技术,本教材也是在此基础上进行的更新和完善。

3.建筑抗震计算方法的完善

随着建筑抗震设计理论不断地翻新,抗震计算方法也发生了转变。从振型分解反应谱法到时程分析法,从线性分析到非线性分析,从非确定性分析到确定性分析。按历史顺序有:①拟静力理论。拟静力理论是20世纪10~40年代发展起来的一种理论,它在估计地震对结构的作用时,仅假定结构为刚性,地震力水平作用在结构或构件的质量中心上。地震力的大小相当于结构的质量乘以一个比例常数(地震系数)。②反应谱理论。反应谱理论是在20世纪40~60年代发展起来的,它以强地震加速度观测记录的增多和对地震地面运动特性规律的进一步把握,以及结构动力反应特性的研究为基础,是美国加州理工学院的一些研究学者对地震加速度与建筑自振的特性进行分析后取得的一个重要理论成果。③动力理论。动力理论是20世纪70~80年代广为应用的地震动动力学理论。它的发展除了基于电子计算机技术和试验技术的发展外,还基于对各类结构在地震作用下的线性与非线性反应过程的深入研究,同时随着强震观测台站数据的不断增多,各种受损结构的地震反应记录也不断增多。进一步的结构动力学理论也称地震时程分析理论,它把地震作为一个时间过程,选择有代表性的地震动加速度时程作为地震动输入,建筑物简化为多自由度体系,计算得出每一时刻建筑物的地震反应,从而进一步完善了建筑抗震设计计算理论。

4. 建筑结构抗震设计新方法的实践与探索

(1) 在对结构的抗震设计中,除要考虑概念设计、结构抗震验算因素外,历次地震后人们在限制建筑高度、提高结构延性(限制结构类型和结构材料使用)等方面的抗震经验一直是各国规范重视的问题。当前,在抗震设计中,从概念设计、抗震验算及构造措施等方面入手,在将抗震、隔震与消能减震(结构延性)结合的基础上,建立了建筑抗震承载力与结构延性要求并重的双重控制指标的设计理念和方法,即减小结构上的地震作用。建筑在地震中有良好而经济的抗震性能成为当代抗震设计发展的方向。而且强柱弱梁、强剪弱弯、强节点弱构件等提高结构延性的能力保护法设计思想已在业界得到了普遍的认可。

(2) 地震是一种自然现象,至今尚不能被科学地定量、定时、定点预测,具有多发性、连锁性和严重性等特点。对于一些超高层建筑物,目前很多设计已经不再局限于“小震不坏,中震可修,大震不倒”的抗震设防标准,对重要结构必要时可以高于上述标准,高层建筑结构的隔震与减震方法不断创新,性能化抗震设计等抗震设计方法是在总结国内外工程震害经验的基础上提出来的新的设计方法。建筑隔震、消能减震等抗震方法正趋于完善和成熟。

① 将地震能转变为热能(耗能)或非结构子系统的动能(吸能)的抗震方法的应用。进入 20 世纪以来,人们对建筑物抗震能力的提高做出了巨大的努力,取得了显著的成果,其中尤为重要是阻尼器在结构抗震减灾中的运用。人们利用阻尼器减震和吸能的特点,结合结构的动力性能,巧妙地避免或减少了地震对高层建筑的破坏作用。目前,用于耗能的装置有:黏弹性阻尼器、黏滞性阻尼器(图 0.1、图 0.2)。运用于高层建筑的的非结构子系统调谐振动吸能的装置有多种:调谐质量阻尼器(tuned mass dampers , TMD)、调谐液体阻尼器(tuned liquid dampers, TLD)、质量泵(mass pumps , MP)、摆式质量阻尼器、液体-质量控制器等。其中, TLD 是一种被动耗能减振装置,近年来出现了大量的研究和应用。TLD 这一名称为孙利民教授和其导师藤野阳三(东京大学)最先提出,后来在国内外被广泛使用。TLD 的减震原理是利用固定水箱中的液体在晃动过程中产生动态侧向力起到减振作用。其具有构造简单、安装容易、自动激活性能好、不需要自启动装置等优点,可兼作供水水箱使用。



图 0.1 黏滞性阻尼器设备安装

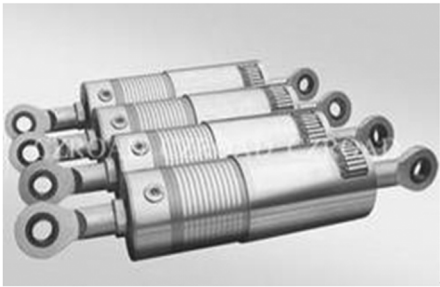


图 0.2 黏滞性阻尼器

② 将地震能转变为结构构件的变形能的抗震方法的应用。中国自古有“以柔克刚”的思想,即刚劲的事物不一定要用更刚劲的方法去征服,有时需要用柔软的事物去克制。在高层建筑抗震设计中,可由传统的以“硬抗”为主的抗震体系转变为以“柔抗”为主的结构减震控制体系。柔性结构的自振周期长,根据地震反应谱理论,结构的自振周期越长,结构所受最大地震惯性力越小,虽然结构的变形加大,但建筑各结构构件受的力却较小,从而对结构的破坏力就较小,这样可以以柔克刚、刚柔相济,有效地以变形能的形式吸收、消散地震波输入给建筑的能量。这方面的运用有很多例子,比如拱结构在高层抗震中的运用:阿拉伯塔酒店,外观如同船帆,一共有 56 层,高 321 m ,就是运用拱结构增加变形能抗震减灾的很好的例子。又如,在新建建筑物四周一定范围内,沿基础与结构之间设置橡胶垫层装置,即隔震橡胶垫,

就可以增加结构的自振周期,从而降低地震的破坏力(图 0.3)。

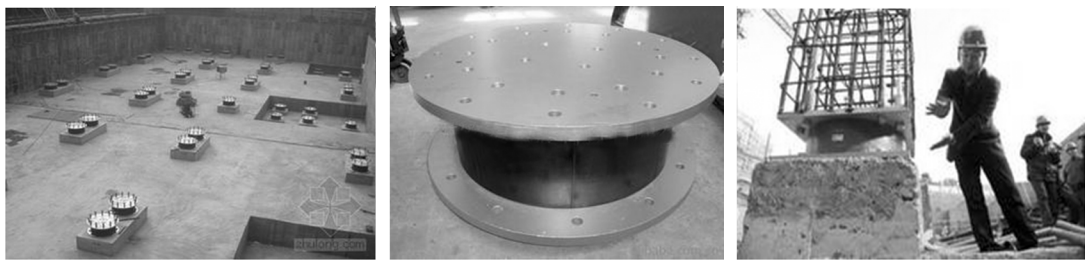


图 0.3 橡胶垫减震支座

③阻断地震输入能量的方法的应用。将建筑物通过基础固定在大地上是一种不太明智的做法,因为这样做,地震会毫不留情地将能量输入建筑物。根据第四强度理论(又称畸变能理论),如果建筑物容纳不了输入的这个能量,就会崩溃、倒塌,从而造成人员伤亡,明智的做法应该是将建筑物和大地脱离,即隔震。滑移基础、漂浮基础、悬浮基础这些隔震措施可以使大地在地震时输入建筑的能量大大减少,这是因为滑动摩擦力、水的剪切摩擦力、磁场真空的摩擦力是很小的,地震对建筑物的作用力小,做的功就小,即输入建筑的能量就小,从而起到抗震目的。

这种做法的优点是使结构出现了一个自振周期为无穷大的平动振型,在滑移状态下结构的各阶最大水平惯性力值与滑动摩擦系数、结构自身的质量及各阶振型有关,而与场地土壤的成分和地震波的频谱成分无关,从而地震反应谱理论失效,这将给建筑设计和地基基础设计理论及工程实践带来新的革命。

a.滑移基础隔震(图 0.4)。从 1995 年开始,辽宁省建筑设计院、中国建筑科学研究院工程抗震研究所就开始了摩擦滑移隔震技术的研究,并在新疆、陕西等地建造了几栋试点建筑。例如,由中国科学院院士周锡元、中国建筑科学研究院顾问副总工程师王亚勇在新疆独山子主持设计的用聚四氟乙烯隔震片(图 0.5)为隔震材料的房屋;由西北建筑设计研究院主持设计的太原“玫瑰园”,用滚动支座为隔震元件的 9 层住宅楼;由东南大学土木学院主持设计的用聚四氟乙烯滑移板为隔震材料的南京江南大酒店。

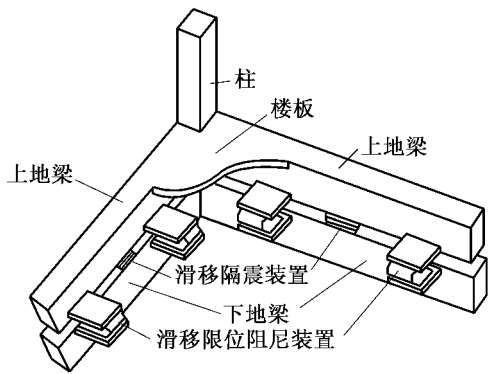


图 0.4 滑移基础隔震示意图

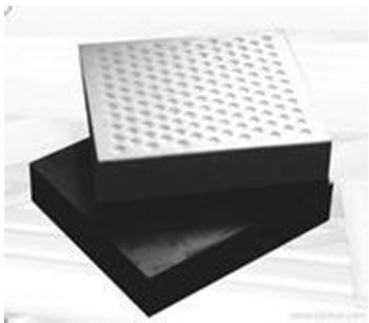


图 0.5 聚四氟乙烯隔震片

最早提出滑移基础隔震概念的是日本学者河合浩藏,他在 1881 年提出“要盖一种在地震时也不晃动的房屋”,其做法是先在地基上纵横交错放几层圆木,在圆木上做混凝土基础,再在上面盖房以削弱向建筑物传递的地震能量。日本在古建筑保护方面使用了这种技术,古建筑与高层楼房相比整体质量轻,积层橡胶不起作用。有效的抗震方法是在建筑物与基础之间加上球形轴承或是滑动体,形成一个滚动式支撑结构,这样可减轻地震造成的晃动。

b.浮力水槽隔震。日本开发了一种名为“浮力水槽”的抗震系统,即在传统抗震构造基础上借助水的

浮力支撑整个建筑物。据日本媒体报道,普通抗震结构把建筑物的上层结构与地基分离开,以中间加入橡胶夹层和阻尼器的方式支撑建筑物。相比之下,“浮力水槽”系统在上层结构与地基之间设置贮水槽,建筑物受到水的浮力支撑,水的浮力承担建筑物大约一半质量,既减轻了地基的承重负荷,又可以把隔震橡胶小型化,降低支撑构造部分的刚性,从而提高了与地基间的绝缘性。地震发生时,由于浮力作用延长了固有振荡周期(即晃动一次所需的时间),建筑物晃动的加速度得以降低。这样一来 6~8 层建筑物的固有周期最大可以延长到 5 s 以上。因此,这种方法在城市海湾沿岸等地层柔软地带也可以获得较好抗震效果。此外,贮水槽内贮存的水在发生火灾时可用于灭火,地震发生后可作为临时生活用水。这一系统成本并不算高。以 8 层楼的医院为例,成本只比普通抗震系统高出大约 2%。

c.悬挂基础隔震。通过巨型的强度和刚度足够大的刚臂、拱构件作为最后一道防线将建筑物悬吊在空中,建筑的基础和大地脱离,建筑物与刚臂、拱构件通过构造措施柔性连接,这样当发生地震时,地震能量将大部分转化为建筑物的动能,而内能很小,从而降低对建筑物的破坏。例如,我国香港的汇丰银行大楼就是采用了悬挂基础隔震技术的案例。

d.磁悬浮基础隔震。将建筑的基础做成磁极,并将场地与建筑物对应的部位也做成与基础同性的磁极,当没有地震时,二磁极没有磁场作用,当发生地震时信号感应系统自动接通磁场的电源,产生磁场,同性磁极相互排斥,于是将建筑物抬高悬空,从而摆脱能量输入,类似磁悬浮列车的工作原理,美国已经出现了磁悬浮基础隔震的成功案例。

任务 0.2 建筑抗震基础知识

1.地震与地震动

地幔物质对流引起板块运动。在地球内部,地幔温度非常高,大约为 1 400 ℃,高温导致地幔中的物质熔化成岩浆一样的炽热流体,由地核内约 3 000 ℃ 的高温驱动它上升,在接近地表处慢慢冷却后再度下沉形成非常缓慢的热对流。把地幔物质这种有规律的热对流称为地幔对流。

地幔对流驱使地球表面地壳板块发生运动,运动速度非常缓慢,相当于人指甲生长的速度,每年约几厘米。

地震是因为板块之间或板块内部的某个部位,十年、百年或几千年板块运动的应力积累到一定程度后突然断裂引起的(图 0.6)。

地球上每天都在发生地震,1 年约 500 万次,其中,人们能感觉到的约 5 万次,能造成破坏性的约有 1 000 次,7 级以上的地震大约每年发生 18 次,8 级以上的每年发生 1~2 次。我国是世界上地震活动最强烈及地震灾害最严重的国家之一,20 世纪全球大陆 35% 的 7 级以上的地震发生在我国。

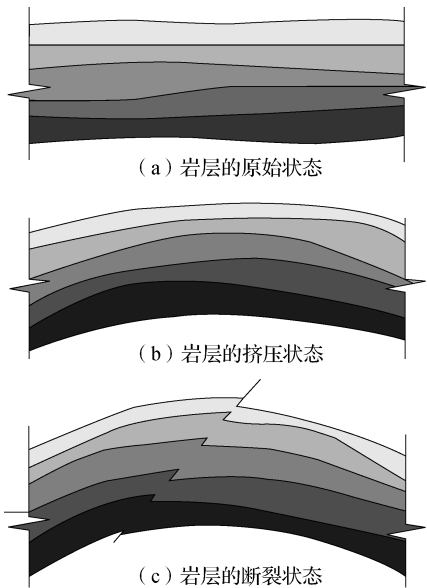


图 0.6 构造地震成因示意图

地震包括天然地震和人工诱发地震两种,天然地震包括板间地震(板块相互滑移或错动)、板内地震(板块突然断裂的构造地震)、火山地震和崩塌地震等;人工诱发地震包括核爆炸引起的地震、大型水库蓄水对地表的压力引起的地震、油井高压注水对地下的压力引起的地震等。

2.地震震级和地震烈度

(1)地震震级和地震烈度的基础知识。

地震一般都发生在地球表面以下几 km 至 60 km 的深处,地震对地球表面的破坏其实是地震波造成的破坏。

地震波在地球内部的传播原理与水受到振动后产生的水波向四周传播的原理是一样的。地震波主要分为纵波和横波(图 0.7)。纵波是一种纵向振动的,以伸缩的形式向四周传播的波,很像多米诺骨牌倒塌相互挤压时的状况,纵波传播的速度最快,我们感觉到的振动是上下颠簸。横波是一种横向振动的波,像水波一样向四周传播的波,横波传播的速度较纵波慢一些,我们感觉到的振动是左右摇晃。

所以,地震时人们首先感受到上下颠动的纵波,随后才感到摇摇晃晃的横波,横波的能量非常大,对地面建筑造成破坏的主要是横波。

科学家利用地震波在地震地球内部传播和穿越地球的特点来探测地球内部的奥秘。利用地震波可以勘探地下石油、矿藏和地下水,地球内部的地壳、地幔和地核的分层和厚度等知识,都是通过对地震波的研究获得的。这是目前人类用来探测地球内部奥秘的唯一途径,因此,也可以说地震波是照亮地球深处奥秘的一盏灯。

地震有大有小,震级是指地震本身释放能量的大小。这同天气预报中用几级风来说明风力的大小是一个道理。

地震震级是衡量一次地震强弱程度(即所释放能量的大小)的指标。目前,国际上比较通用的是里氏震级,其原始定义于 1935 年由里克特(Richter)给出,在距离震中 100 km 处安放一台地震仪,即地震震级 $M=\lg A$ 。这里 A 为某点地震时地震仪所测到的地面最大水平位移,以微米为单位。

地震释放的能量: $E=10^{1.5M+11.8}$,震级与震源释放能量的大小有关,震级每差一级,释放的能量相差 31.6 倍,6 级地震的能量=2 万吨 TNT 炸药所释放的能量。

人对地震的感觉(以处在震中位置,震源深度为 20 km 为例):1~2 级的地震,人们一般感觉不出来;3~4 级的地震,人们可以感觉到,但破坏性不大;5~6 级的地震,属于破坏性地震;7 级以上的地震,属于破坏性极大的地震。9.5 级地震是目前记录到的最大震级。

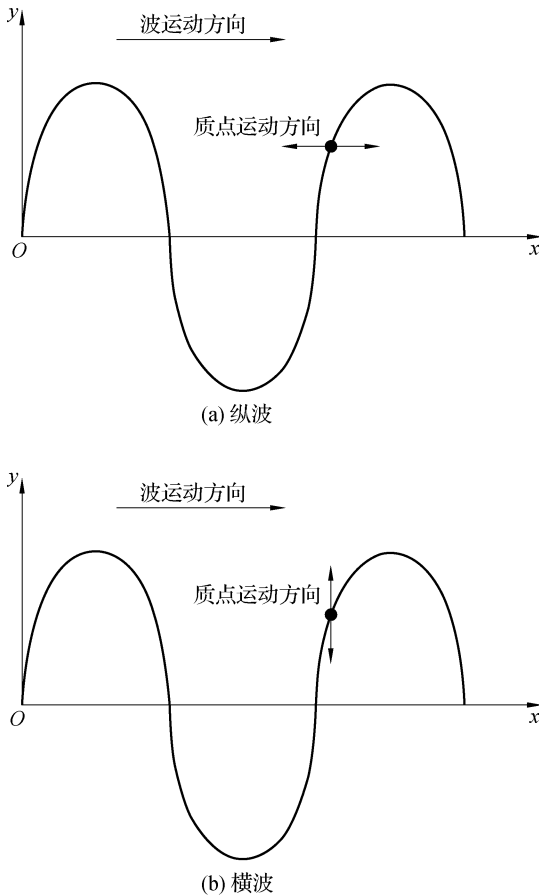


图 0.7 地震波纵波和横波示意图

地震烈度是一次地震后不同地区造成的不同破坏程度的鉴定标准。用某次地震历时最大的地面运动加速度($1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2$, 目前能检测到 3 个平动分量, 3 个扭转分量有待进一步检测)来表示, 我国制定的地震烈度分 12 度。一次地震只有一个震级, 但会在不同地区产生不同破坏程度的地震烈度。

2008 年 5 月 12 日, 我国汶川大地震破坏最严重的地区映秀镇及北川羌族自治县, 烈度达到了 11 度。

地震发生的地方是震源, 震源的正上方是震中, 震源和震中的距离是震源深度, 从震中到地面某一点的距离称为震中距。对于某次地震来说, 震中距越小, 破坏力就越大; 震中距越大, 破坏力就越小。同样的道理, 震源越浅, 破坏力就越大, 震源越深, 破坏力就越小。

(2) 抗震基本烈度与抗震设防烈度。

抗震基本烈度是某地区 50 年内, 在该地区一般场地条件下, 超越概率(在概率密度曲线上本烈度值右侧概率密度曲线与烈度横轴围成的面积)为 10% 所对应的地震烈度, 基本烈度是该地区抗震设计的基本标准; 超越概率为 63.2% 的地震烈度为该地区的小震烈度(又称众值烈度, 即概率密度曲线上最大值处); 取超越概率为 2% 的地震烈度为该地区的大震烈度(又称罕遇烈度)(图 0.8)。

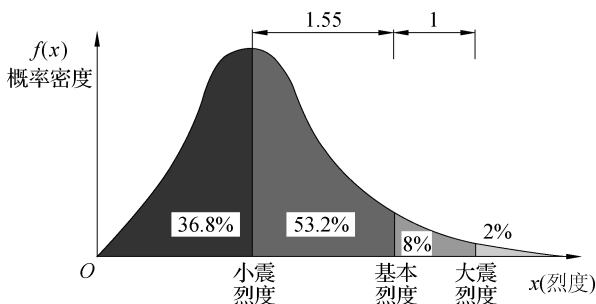


图 0.8 地震烈度概率密度曲线

抗震设防烈度指建筑物抗震设防时采用的烈度。GB/T 50011—2011 中《附录 A 我国主要城镇设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组》里规定了我国主要城镇的抗震设防烈度。

(3) 地震观测知识。

人类从对地震进行文字描述和记载到发明、制造仪器来观测地震, 是科学技术取得的重大突破。这一伟大功绩首先要归功于我国古代科学家张衡。张衡在 1 800 多年前发明制造了世界上第一台观测地震的仪器, 它比西方学者 1703 年研制出来的同类仪器要早 1 500 多年。

候风地动仪的原理: 地震发生时引起地面震动, 这种震动以地震波的形式传播, 当某一个方向的地震波传过来时, 地面的运动引起地动仪的震动, 地动仪中的立柱就会倒向这个方向, 触动这个方向龙口张开, 将含珠吐入蟾蜍口中, 表示那个方向发生地震。

现代地震仪已经发展到可以高精度、高灵敏度地观测来自地下的各种地震信息。科学家建立了数十种地震观测方法, 对发生在全球的地震进行全方位的监测。

现代地震仪(拾震器)的工作原理: 在一个能够摆动的摆锤前端安上磁性线圈, 并套在磁钢上, 当地面发生震动时, 摆锤的摆动使磁性线圈与磁钢产生相对运动而产生电磁感应信号; 电磁感应信号经放大器放大后, 以波形形式被存储或实时传输, 用于后续分析地震参数。拾震器一般按东西、南北、上下 3 个方向摆放, 实现三维地震动监测。

地震科研人员根据地震记录图中的各种地震动信号, 经过科学计算后, 就可以知道在什么时间、什么地点、发生了多大的地震。全球设有专业地震台站超过 5 000 个, 其中, 我国设有专业地震台站约 1 000 个, 这些地震台站有的是有人值守, 有的是无人值守的自动遥测式地震台站。

目前世界上主要的地震观测方法有: 地震记录仪(观测地震的发生和活动情况)、GPS(观测与地震有关的地质构造活动)、卫星激光测距(satellite laser ranging, SLR)系统(观测与地震有关的地球表面两点之间的距离变化)、重力测量(观测与地震有关的岩石介质密度变化)、地磁测量(观测与地震有关的地磁场)

变化、大地电流变化)、地下水测量(观测与地震有关的地下水位变化和地下水各种化学成分的变化)、观察动物异常(观察动物与地震有关的异常行为等)。

3.地震预测

地震预测是根据对地震规律的认识,应用地震前观测到的前兆异常现象预测未来地震的时间、地点和强度(震级)。

地震是地壳构造运动的结果,因此,地震的发生必然与地质构造密切相关;同时地震活动在其时间和空间分布等方面有一定的特征,地震的孕育过程又产生地壳变形、地球变化、地震电磁等方面的前兆异常现象。所以,目前地震预测方法大致可以分为3类:地震地质、地震统计和地震前兆。

地震地质方法是研究地震活动与地质构造关系的综合技术,其核心在于通过地质特征分析预测地震风险。

地震统计方法是利用历史地震数据和数学工具分析地震活动规律,预测未来地震概率的技术。

地震前兆方法是根据地震前观察到的异常现象来预测未来地震的时间、地点与强度的方法。地震学家普遍认为,若要明确而直接地预测地震,必须要靠地震前兆。所以,寻找地震前兆是地震预测的主要途径。为了取得可靠的地震前兆,必须开展长期、广泛的观测和研究。

目前,已被观测到的前兆现象有:地震活动、地壳变形、地下水动态、地下水化学成分、地电、地磁、重力、地下油气动态、地光、地声、电磁波、动物行为及气象异常等。自1966年我国开展地震预测研究以来,在全国各地震区广泛建立了包括地震学观测,地壳变形测量,地电、地磁、重力等地球物理观测、地下流体观测等多学科的地震监测台网。近60年来,地震监测台网监测范围内已积累了200多次5级以上地震资料,取得了上千条地震前兆异常记录。初步建立了一些经验性地震预测方法、数据及指数。我国现有的地震预报就是在这些震例经验的基础上根据当前各个学科观测到的前兆异常情况对未来地震发生及发展状况进行分析及推断。

实现地震预测既是人类迫切的愿望又是世界性的难题,尽管地球物理科学家为地震预测做了长期艰苦的努力,但目前仍处于探索阶段。

地震预测问题提出的目的在于避免或减轻地震灾害。为此,它应当具有高度的可靠性,预测不准会引起居民不必要的恐慌,同样会给社会和经济带来巨大损失。但可靠的预测是非常困难的,因为人类至今对地震的成因和规律还认识得不够。地震学家不能直接观察地球内部,以致对地震的孕育和影响这一过程的种种因素缺乏观测数据。因此,尽管地震预测问题提出很久,但进展缓慢,在最好的情况下也只能做出粗略的估计。记录表明,目前,还没有发现用某一种地震研究方法或仅凭某一种地震前兆现象就可以准确预测地震要发生的时间、地点和震级。

地震预测发展的前景:强烈的社会需求是地震预测发展的强大动力,高新科学技术的应用为地震预测开拓了新的前景。地震预测是一门观测性科学,地震预测的困难之一是受到观测技术的严重制约。20世纪90年代以来,随着高新技术在地球科学中的应用,特别是潜地观测技术、空间对地观测和数字地震观测技术的发展,以及近年来不少国家发射地震卫星,为地震观测开拓了新的领域,从这一意义上看,地震观测新技术的发展和进步为地震预测带来了历史性的机遇。

4. 地震灾害

随着全球经济和人口城市化的快速发展,地震灾害对人类生活的影响也随之增加。其中最突出的是1976年的中国唐山7.8级大地震,震中在唐山市中心,约24万人死亡;2004年印度尼西亚苏门答腊岛9.3级地震引发的海啸,造成约23万人死亡;2005年巴基斯坦地震约9万人死亡;2008年中国的汶川8.0级大地震约7万人死亡。

5. 建筑结构抗震设防

(1) 建筑抗震设防目标及抗震设计的基本内容。

GB/T 50011—2010明确给出了“三水准”的设防目标。

第一水准:当建筑物遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时,主体结构一般无损坏或不需维修可继续使用,即“小震不坏”。

第二水准:当建筑物遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时,一般有损坏但维修后仍可以继续使用,即“中震可修”。

第三水准:当建筑物遭受高于本地区设防烈度的罕遇地震影响时,不致倒塌,即“大震不倒”。

建筑抗震设计包括3个层次的内容:概念设计(在总体上定性地把握建筑抗震设计的基本原则,例如选择合适的场地,把握合适的建筑体型,利用结构的延性,设置多道防线等)、抗震计算(使用底部剪力法、振型分解反应谱法、时程分析等算法对建筑进行定量的抗震计算或验算以保证结构的抗震能力)、抗震构造措施(采用不同等级的抗震构造手段加强或弥补结构的抗震薄弱环节及不足)。

(2) 建筑抗震设防分类及标准。

各抗震设防类别建筑与市政工程,其抗震设防标准应符合下列规定:

①标准设防类,应按本地区抗震设防烈度确定其抗震措施和地震作用,达到在遭遇高于当地抗震设防烈度的预估罕遇地震影响时不致倒塌或发生危及生命安全的严重破坏的抗震设防目标。

②重点设防类,应按本地区抗震设防烈度提高一度的要求加强其抗震措施;但抗震设防烈度为9度时应按比9度更高的要求采取抗震措施;地基基础的抗震措施,应符合有关规定。同时,应按本地区抗震设防烈度确定其地震作用。

③特殊设防类,应按本地区抗震设防烈度提高一度的要求加强其抗震措施;但抗震设防烈度为9度时应按比9度更高的要求采取抗震措施。同时,应按批准的地震安全性评价的结果且高于本地区抗震设防烈度的要求确定其地震作用。

④适度设防类,允许比本地区抗震设防烈度的要求适当降低其抗震措施,但抗震设防烈度为6度时不应降低。一般情况下,仍应按本地区抗震设防烈度确定其地震作用。

⑤当工程场地为I类时,对特殊设防类和重点设防类工程,允许按本地区设防烈度的要求采取抗震构造措施;对标准设防类工程,抗震构造措施允许按本地区设防烈度降低一度、但不得低于6度的要求采用。

⑥对于城市桥梁,其多遇地震作用尚应根据抗震设防类别的不同乘以相应的重要性系数进行调整。特殊设防类、重点设防类、标准设防类,以及适度设防类的城市桥梁,其重要性系数分别不应低于2.0、1.7、1.3和1.0。

6.抗震设计的总体要求

建筑抗震设计包括3方面的内容:概念设计、抗震计算和抗震构造措施。概念设计是在总体上把握抗震设计的基本原则;抗震计算为建筑抗震设计提供量化手段;抗震构造措施可以在保证结构整体性、加强局部薄弱环节等方面上保证抗震计算结果的有效性。建筑抗震设计上述3方面的内容是一个不可割裂的整体,忽略任何一部分,都可能造成抗震设计的失败。关于抗震计算与抗震构造措施,本教材将在后续各模块中逐步展开,这里先探讨抗震概念设计方面的内容。建筑抗震设计在总体上要把握的基本原则是:注意场地的选择、把握建筑体型、利用结构的延性、设置多道防线、重视非结构因素。

(1)注意场地选择。

建筑场地的地质条件与地形地貌对建筑物震害的影响显著,这已被大量的震害实例所证实,从建筑抗震概念设计的角度出发,首先应注意建筑场地的选择,简单地说,地震区的建筑宜选择有利地段、避开不利地段、不在危险地段建设。各类地段划分原则见表0.1。

表 0.1 有利、一般、不利和危险地段的划分

地段类别	地质、地形、地貌
有利地段	稳定基岩,坚硬土,开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等
一般地段	不属于有利、不利和危险的地段
不利地段	软弱土,液化土,条状突出的山嘴,高耸孤立的山丘,陡坡,陡坎,河岸和边坡的边缘,平面分布上成因、岩性、状态明显不均匀的土层(含故河道、疏松的断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷和半填半挖地基),高含水量的可塑黄土,地表存在结构性裂缝等
危险地段	地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等及发震断裂带上可能发生地表位错的部位

当确实需要在不利地段或危险地段开展建筑工程时,应遵循建筑抗震设计的有关要求详细的场地评价并采取必要的抗震措施。

(2)把握建筑体型。

建筑的体型对建筑结构地震反应的影响很大,合理的体型可以最大限度地减少结构的地震反应,而不合理的体型可以加重结构的地震反应,从而可以使结构破坏程度加大。当结构的各层侧向刚度中心和质心不重合时,即便是当仅有单向水平地震动发生时也会引发结构其他方向的振动(包括扭转和倾覆)。同样当结构的各层竖向刚度中心和质心不重合时,即便是当仅有单向竖地震动发生时也会引发结构其他方向的振动(包括扭转和倾覆),所以在设计建筑的立面和平面时,尽量使结构的刚度中心和质心重合,这样可以避免结构的耦合振动反应。

所以建筑物平、立面布置的基本原则是:对称、规则、质量与刚度变化均匀。

表0.2和表0.3分别列举了混凝土房屋、钢结构房屋和钢-混凝土混合结构房屋平面不规则和竖向不规则的建筑类型。对于因建筑或工艺要求形成的体型复杂的结构物,可以设置结构缝,将结构物分成规则的结构单元,但对高层建筑要注意设缝后形成的结构单元的自振周期应避开场地土的卓越周期。对于不宜设置结构缝的复杂体型的建筑,则应进行精细的结构时程计算。

表 0.2 平面不规则的主要类型

不规则类型	定义和参考指标
扭转不规则	在具有偶然偏心的水平力作用下,楼层两端抗侧力构件弹性水平位移(或层间位移)的最大值与平均值之比大于 1.2
凹凸不规则	平面凹进的尺寸,大于相应投影方向总尺寸的 30%
楼板局部不连续	楼板的尺寸和平面刚度急剧变化,例如,有效楼板宽度小于该层楼板典型宽度的 50%,或开洞面积大于该层楼面面积的 30%,或较大的楼层错层

表 0.3 竖向不规则的主要类型

不规则类型	定义和参考指标
侧向刚度不规则	该层的侧向刚度小于相邻上一层的 70%,或小于其上相邻 3 个楼层侧向刚度平均值的 80%;除顶层或出屋面小建筑外,局部收进的水平向尺寸大于相邻下一层的 25%
竖向抗侧力构件不连续	竖向抗侧力构件(柱、抗震墙、抗震支撑)的内力由水平转换构件(梁、桁架等)向下传递
楼层承载力突变	抗侧力结构的层间受剪承载力小于相邻上一楼层的 80%

(3) 利用结构的延性。

地震发生时,建筑物要接受地震输入的能量,或以变形能的形式储存在结构内,或以动能和热能的形式释放出来,事实证明仅利用结构的弹性变形能抵抗强烈地震是不明智的,正确的做法是同时利用结构弹、塑性阶段的性能通过一定限度内的塑性变形来消耗地震时输入结构的能量。结构材料的 $P-\Delta$ 滞回曲线所围合的面积就是结构材料所消耗的地震能量, $P-\Delta$ 滞回曲线所围合的面积越大其所消耗的地震能量越大,这正是延性材料所具有的优点,在设计中,可以通过各种各样的构造措施和耗能手段来增强结构构件的延性。



文本:知识拓展

(4) 设置多道防线。

在地震发生时,为了保证充足的逃生时间和空间,结构应具有足够的多余约束,随着结构构件的逐步破坏,结构的超静定次数逐步减少,直至整个体系倒塌,所以在建筑抗震设计中,有意识地使结构具有多道抗震防线,并且使最后一道防线具有一定的强度和足够的变形能力,是抗震设计的重要内容。我国抗震规范里的强剪力墙弱连梁、强剪弱弯、强柱弱梁、强节点弱构件的设计理念,其目的也是让结构构件的破坏有先后次序,为人员的安全疏散提供保障。

(5) 重视非结构因素。

非结构构件的存在,会影响主体结构的动力特性,如结构的阻尼、结构的自振频率等。同时一些非结构构件(如幕墙、吊顶、室内设备、填充墙、隔墙等)在地震中往往会先被破坏,因此在结构抗震概念设计中,应注意非结构构件与结构构件的连接和锚固,在抗震计算时合理建立相应的结构计算动力学模型,以充分估计其对主体结构的影响程度。

任务 0.3 本教材的特点

1.教材内容与时俱进、紧跟我国的现行国家标准

本课程的教学必须与我国现行最新的有关标准、规范、规程相结合,因为标准、规范、规程融进了我国目前最新的经过工程实践验证的可靠抗震研究成果,反映了一个年代的水平,是受法律约束的。当然随着时代的进步,这些标准、规范、规程也会发生变化。本教材编写依据的国家、行业标准有:

- (1)《建筑抗震设计标准(2024年版)》GB/T 50011—2010。
- (2)《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002—2021。
- (3)《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223—2008。
- (4)《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166—2011。
- (5)《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231—01—2020。
- (6)《工程结构通用规范》GB 55001—2021。
- (7)《公路工程抗震规范》JTG B02—2013。
- (8)《烟囱工程技术标准》GB/T 50051—2021。
- (9)《通信建筑抗震设防分类标准》YD/T 5054—2019。
- (10)《通信设备安装工程抗震设计标准》GB/T 51369—2019。
- (11)《风电场工程抗震设计规范》NB/T 11600—2024。
- (12)《水工建筑物抗震设计标准》GB 51247—2018。
- (13)《电力设施抗震设计规范》GB 50260—2013。
- (14)《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—2009。
- (15)《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008。
- (16)《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003—2021。
- (17)《混凝土结构设计标准》GB/T 50010—2010。
- (18)《砌体结构设计规范(2024版)》GB 50003—2011。
- (19)《钢结构设计标准》GB 50017—2017。
- (20)《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99—2015。
- (21)《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010。
- (22)《建筑消能减震技术规程》JGJ 297—2013。
- (23)《建筑隔震设计标准》GB/T 51408—2021。
- (24)《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118—2018。
- (25)《建筑消能减震加固技术规程》T/CECS 547—2018。

2.引进实际的工程案例,满足目前高校行动导向教学、项目化教学新思潮的需要

行动导向教学法的亮点:用工作过程系统化代替学科的系统化,教学过程中突出工作过程的系统性

和完整性,并尽量保证学科自身结构的系统性和完整性,并将工作项目和职业行动引入课堂。项目化教学法是行动导向教学法的高级阶段,本课程引入了项目教学法,并将项目模块化,本教材共分绪论和9个项目模块:场地选择和地基处理,建筑结构地震反应及抗震计算,多层砌体结构的抗震设计,多高层钢筋混凝土结构房屋抗震设计及其构造措施,多高层钢结构建筑的抗震设计与抗震措施,单层工业厂房抗震设计与构造措施,高耸结构构筑物抗震设计与构造措施,桥梁结构建筑抗震设计与构造措施,建筑结构隔震、减震与振动控制原理及应用。每个模块都和具体的工程案例相结合,体现行动导向教学法的教学要求。

3.公式、图表突出实用,简化公式的推导过程

限于篇幅,本教材对理论推导部分进行了简化,做到了“少而精”,着重突出了公式结果的应用,并附了必要的工程图表,本课程是在学生学完建筑力学包括结构动力学等力学课程后才能开设的课程,本教材在保证知识结构系统性和完整性的同时略去了与前接课程的重叠部分。教师可以根据自己的教学情况进行取舍、添加。

4.体现“校企合作”,工程师参与编写

本教材由具有国家一、二级注册结构工程师或建造师资格的高校教师及来自企业的高级工程师编写,为保证教材的实用性,特聘请我国知名的基准方中建筑设计股份有限公司具有丰富建筑结构设计实践经验的高级结构工程师张雪波参与编写本教材。

5.体现“岗课赛证”职业教育要求

目前,我国实行职业资格证书制度,要求各种从事技术复杂及涉及国家财产、人民生命安全和消费者利益工种(职业)的劳动者,必须经过培训取得相应的职业资格证书才可以上岗就业。其中,很多职业资格证书考试内容涵盖了建筑抗震的知识,如土木建筑工程设计领域、施工领域、材料检测领域都要求对建筑抗震知识内容有充分的了解和掌握,本教材给出了近5年的有关职业资格考试的真题和模拟试题供学生学习参考。

另外,我国相关部门还规定了职业注册考试制度,如注册结构工程师、注册建筑师、注册建造师、注册监理工程师等执业资格考试,其考试内容也涉及很多建筑抗震的内容。

关于职业资格证书相关问题,可以到中华人民共和国人力资源和社会保障部、住房和城乡建设部等相关网站做进一步了解。



文本:技能大赛相关资料

任务 0.4 建筑抗震课程的内容、教学方法

1.教学方法

(1)本专业课程体系的构建以就业和工作过程为导向,以行业需求、市场调研为依据,以工作任务为载体。课程开发经过工作过程分析和教学过程分析两阶段,课程开发的基本思路是从行动领域到学习领域再到学习情境。基本路线是从对企业调研获得的实际工作任务分析到整合的工作任务归纳,再到学习性的工作任务归纳,再依据工作过程要素采用6步法(资讯、决策、计划、实施、检查、评估)完成工作过程

系统化课程的开发,按认知规律由简单到复杂、由单一到综合、由低级到高级组织教学。构建能力型的工作过程系统化课程体系,实现学生的学习过程与就业岗位工作过程相一致,真正做到学以致用。

(2)本课程可以与建筑企业合作,进行基于工作过程的课程开发与设计。合作成立课程建设小组,定期开展联合教研活动,共建实训基地。

(3)本课程按照基于工作过程的设计思想重构教学内容。本课程设计了9个项目模块,但课程设计与思路与原有的建筑力学、建筑结构存在着明显学科化思想对比,力学、结构学与建筑学的教学内容深度融合,使课程在整合的基础上发生质的变化,更适合应用型本科及高职院校的人才培养方案要求。

(4)本课程采用项目化教学,整个课程由若干项目模块构成,每一模块又由若干学习任务组成。除课程总体学习目标明确外,每个模块每个单元都建立可量化的学习目标,学习目标科学合理。

(5)本课程每个单元设计了合理的工作任务或项目,以工作任务、项目为载体,序化教学内容,并采用任务驱动、项目导向等生动的行动导向教学模式,学生不再觉得建筑抗震问题那么抽象,学习目的明确,学习主动性明显增强。

2.课程的性质和任务

建筑抗震是一门理论性和实践性较强、专业技术含量较高的土建类专业课程。课程的任务是要掌握建筑结构抗震与隔震的基本概念及概念设计、建筑结构抗震与隔震反应(内效应与外效应)的常见力学模型及求解方法、地震作用参与下各类结构构件的承载力计算及变形验算、各类结构类型的抗震构造措施,使学生具备建筑结构的抗震设计、施工组织、检测、监理方面的专业技术能力和思维能力,能运用本专业基本知识分析和处理建筑结构工程中的一些和建筑抗震与减、隔震有关的专业技术问题。



视频:万里长城

项目检测

- 1.地震震级和地震烈度有什么区别和联系?
- 2.如何考虑不同类型建筑的抗震设防?
- 3.什么是小震、中震和大震?
- 4.简述建筑抗震概念设计、抗震计算、构造措施三者之间的关系。
- 5.试讨论建筑结构延性与结构抗震的内在联系。

项目 1

场地选择与地基处理

学习 XUEXI MUBIAO 目标

【知识目标】

- 1.了解工程地质条件对震害的影响。
- 2.掌握建筑场地类别划分的依据及划分方法。
- 3.掌握天然地基基础抗震验算方法。
- 4.掌握场地土液化的概念及其影响因素和判别方法。

【能力目标】

- 1.能够进行场地类别的划分。
- 2.能够进行场地土液化指数计算和液化等级判别,并会积极采取相应的抗液化地基土的处理措施。

【素质目标】

- 1.培养以人民为中心的精神品质,坚持人民至上,生命至上。
- 2.弘扬社会主义核心价值观。
- 3.培养家国情怀和使命意识,坚定技能报国的信念。
- 4.培养爱岗敬业的劳模精神。
- 5.培养遵纪守法、心系祖国、爱岗敬业、对国家与人民的安全负责的法律意识和思想道德素质。

【项目案例】工程概况及岩土地质勘察报告:本工程案例为某学院的学生宿舍楼,六层钢筋混凝土框架结构,建筑物的安全等级为二级,使用年限为 50 年,本工程抗震设防分类标准为丙类建筑,抗震设防烈度为 8 度,设计地震分组为第一组,框架的抗震等级为二级。混凝土环境类别:地面以上为一类,地面以下为二 b 类。场地类别为 II 类。可液化细砂层至地下 2.1 m,粉质黏土层至地下 3.6 m,可液化粉细砂层至地下 8.0 m,粉质黏土层至地下 15.0 m,基础埋深为 2 m,地下水位深度 $d_w = 1.35$ m,设计基本地震加速度为 0.15g。

本项目案例的任务要求是根据岩土地质勘察报告求出地基 15 m 深度范围内的地基液化指数和液化等级。

任务 1.1 场地选择

大量的震害统计资料表明,建筑物的地震破坏程度与场地条件有很大的关联,场地是指建筑物所在地,其范围大体相当于厂区、居民点和自然村的范围。建筑物的震害除与地震类型、结构类型等因素有关外,还与其下卧层的构成、覆盖层厚度密切相关。一般来说,低层建筑建在坚硬的土壤上震害严重,高层建筑建在松软的土壤上震害严重。

从原理上分析,在岩层中传播的地震波,本来就具有多种频率,其中,在振幅谱中振幅最大的频率分量所对应的周期,称为地震动的卓越周期。在地震波通过覆盖土层传向地面的过程中,与土层固有频率相一致的频率波群将被放大,而另一些频率波群将被衰减甚至被完全过滤掉,这样一来,地震波通过土层后,由于土层的过滤性与选择放大作用,地表地震动的卓越周期在很大程度上取决于场地的固有周期,当建筑物的固有周期与地震动的卓越周期接近时,建筑物的振动会加大,于是震害就会加重。

建筑场地的类别划分,应以场地覆盖层厚度和覆盖层等效剪切波速为准。

1. 场地覆盖层厚度

建筑场地覆盖层厚度的确定,应符合下列要求:

- (1) 一般情况下,应按地面至剪切波速大于 500 m/s 且其下卧各层岩土剪切波速均不小于 500 m/s 的土层顶面的距离确定。
- (2) 当地面 5 m 以下存在剪切波速大于其上部各土层剪切波速 2.5 倍的土层,且该层及其下卧各层土层的剪切波速均不小于 400 m/s 时,可按地面至该土层顶面的距离确定。
- (3) 剪切波速大于 500 m/s 的孤石、透镜体,应视同周围土层。
- (4) 土层中的火山岩硬夹层,应视为刚体,其厚度应从覆盖土层中扣除。

2. 覆盖层等效剪切波速

$$v_{se} = d_0 / t \tag{1.1}$$

式中 v_{se} ——土层等效剪切波速(m/s);
 d_0 ——计算深度(m),取覆盖层厚度和 20 m 两者的较小值;
 t ——剪切波在地面至计算深度之间的传播时间;

$$t = \sum_{i=1}^n (d_i / v_{si}) \tag{1.2}$$

式中 d_i ——计算深度范围内第 i 土层的厚度(m);
 v_{si} ——计算深度范围内第 i 土层的剪切波速(m/s);
 n ——计算深度范围内土层的分层数。

3. 场地类别

建筑的场地类别,应根据土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度按表 1.1 划分为 4 类,其中 I 类分为 I_0 、 I_1 两个亚类。当有可靠的剪切波速和覆盖层厚度且其值处于表 1.1 所列场地类别的分界线附近时,

应允许按插值方法确定地震作用计算所用的特征周期。

表 1.1 各类建筑场地的覆盖层厚度 m

岩石的剪切波速或土的等效 剪切波速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	场地类别				
	I_0	I_1	II	III	IV
$v_s > 800$	0				
$800 \geq v_s > 500$		0			
$500 \geq v_{se} > 250$		< 5	≥ 5		
$250 \geq v_{se} > 150$		< 3	3 ~ 50	> 50	
$v_{se} \leq 150$		< 3	3 ~ 15	15 ~ 50	> 80

注:表中 v_s 为岩土剪切波速。

土层剪切波速的测量,应符合下列要求:

(1)在场地初步勘察阶段,对大面积的同一地质单元,测试土层剪切波速的钻孔数量不宜少于 3 个。

(2)在场地详细勘察阶段,对单幢建筑,测试土层剪切波速的钻孔数量不宜少于 2 个,测试数据变化较大时,可适量增加;对小区中处于同一地质单元内的密集建筑群,测试土层剪切波速的钻孔数量可适量减少,但每幢高层建筑和大跨空间结构的钻孔数量均不得少于 1 个。

(3)对丁类建筑及丙类建筑中层数不超过 10 层、高度不超过 24 m 的多层建筑,当无实测剪切波速时,可根据岩土名称和性状,按表 1.2 划分土的类型,再利用当地经验在表 1.2 的剪切波速范围内估算各土层的剪切波速。

表 1.2 土的类型划分和剪切波速范围

土的类型	岩土名称和性状	土层剪切波速范围/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
岩石	坚硬、较硬且完整的岩石	$v_s > 800$
坚硬土或软质岩石	破碎和较破碎的岩石或软和较软的岩石,密实的碎石土	$800 \geq v_s > 500$
中硬土	中密、稍密的碎石土,密实、中密的砾、粗、中砂, $f_{ak} > 150 \text{ kPa}$ 的黏性土和粉土,坚硬黄土	$500 \geq v_s > 250$
中软土	稍密的砾、粗、中砂,除松散外的细、粉砂, $f_{ak} \leq 150 \text{ kPa}$ 的黏性土和粉土, $f_{ak} > 130 \text{ kPa}$ 的填土,可塑新黄土	$250 \geq v_s > 150$
软弱土	淤泥和淤泥质土,松散的砂,新近沉积的黏性土和粉土, $f_{ak} \leq 130 \text{ kPa}$ 的填土,流塑黄土	$v_s \leq 150$

注: f_{ak} 为由载荷试验等方法得到的地基承载力特征值(kPa); v_s 为岩土剪切波速。

4.场地的卓越周期

场地的卓越周期或固有周期是场地的地震动参数之一,它的数值随场地土类型、地质构造、震级、震源深度、震中距大小等多种因素而变化。场地的卓越周期可根据剪切波速重复反射理论按下式计算:

$$T = \frac{4d_0}{v_{se}} \quad (1.3)$$

式中各符号的含义同式(1.1)。

卓越周期越长,土壤就越软;卓越周期越短,土壤就越硬。

震害表明,当建筑物的自振周期与场地的卓越周期相等或接近时,建筑物与场地发生共振,那么建筑物的震害就严重,因此抗震设计中应使两者的周期错开,避免共振的发生。

任务 1.2 地基抗震验算

1.2.1 地基抗震设计原则

地基是指建筑物基础下面受力层范围内的土层。对历史震害资料的统计分析表明,一般地基在地震时很少发生问题。造成上部建筑物破坏的主要是松软土地基和不均匀地基。因此,设计地震区的建筑物,应根据土质的不同情况采用不同的处理方案。

1. 松软土地基

在地震区,对饱和的淤泥和淤泥质土、冲填土、杂填土、不均匀地基土,不能不加处理地直接用作建筑物的天然地基。工程实践已经证明,尽管这些地基土在静力条件下具有一定的承载能力,但在地震时,由于地面运动的影响,会全部或部分丧失承载能力,或者产生不均匀沉陷和过量沉陷,造成建筑物的破坏或影响其正常工作。松软土地基的失效不能用加宽基础、加强上部结构等措施克服,而应采用地基处理措施(如置换、加密、强夯等)消除土的不稳定性,或者采用桩基等深基础避开可能失效的地基对上部建筑的不利影响。

2. 一般土地基

房屋震害统计资料表明,建造于一般土质天然地基上的房屋,遭到地震时极少有因地基强度不足或较大沉陷导致上部结构的破坏,因此,GB/T 50011—2010 规定,下列建筑可不进行天然地基及基础的抗震承载力计算:

(1) GB/T 50011—2010 规定可不进行上部结构抗震验算的建筑。

(2) 地基主要受力层范围内不存在软弱黏性土层的下列建筑:

①一般的单层厂房和单层空旷房屋。

②砌体房屋。

③不超过 8 层且高度在 24 m 以下的一般民用框架和框架-抗震墙房屋。

④基础荷载与③项相当的多层框架厂房和多层混凝土抗震墙房屋。

注:软弱黏性土层指 7 度、8 度和 9 度时,地基承载力特征值分别小于 80 kPa、100 kPa 和 120 kPa 的土层。

1.2.2 地基土抗震承载力

天然地基基础抗震验算时,应采用地震作用效应标准组合,且地基抗震承载力应取地基承载力特征值乘以地基抗震承载力调整系数计算。

地基抗震承载力应按下列式计算:

$$f_{aE} = \xi_a f_a \tag{1.4}$$

式中 f_{aE} ——调整后的地基抗震承载力;
 ξ_a ——地基抗震承载力调整系数,应按表 1.3 采用;
 f_a ——深宽修正后的地基承载力特征值,应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)采用。

表 1.3 地基抗震承载力调整系数

岩土名称和性状	ξ_a
岩石,密实的碎石土,密实的砾、粗、中砂, $f_{ak} \geq 300$ kPa 的黏性土和粉土	1.5
中密、稍密的碎石土,中密和稍密的砾、粗、中砂,密实和中密的细、粉砂, $150 \text{ kPa} \leq f_{ak} < 300 \text{ kPa}$ 的黏性土和粉土,坚硬黄土	1.3
稍密的细、粉砂, $100 \text{ kPa} \leq f_{ak} < 150 \text{ kPa}$ 的黏性土和粉土,可塑黄土	1.1
淤泥、淤泥质土、松散的砂、杂填土、新近堆积黄土及流塑黄土	1.0

验算天然地基地震作用下的竖向承载力时,按地震作用效应标准组合的基础底面平均压力和边缘最大压力应符合下列各式要求:

$$p \leq f_{aE} \tag{1.5}$$

$$p_{\max} \leq 1.2 f_{aE} \tag{1.6}$$

式中 p ——地震作用效应标准组合的基础底面平均压力;
 $p_{\max}$ ——地震作用效应标准组合的基础边缘的最大压力。

高宽比大于 4 的高层建筑,在地震作用下基础底面不宜出现脱离区(零应力区);其他建筑,基础底面与地基土之间脱离区(零应力区)面积不应超过基础底面面积的 15%。

1.2.3 地基土液化及其防治

1. 地基土液化及其危害

由饱和松散的砂土或粉土颗粒组成的土层,在地震作用下,粉粒间的蜂窝结构解体,从而释放出其中的孔隙水分,水分连成一体并将土颗粒全部或部分悬浮在其中,形成了“液体”的现象,称为地基土的液化。液化后的土壤抗剪强度趋近于零,从而丧失了承载能力。在强烈的地震作用下,土壤会出现喷水、冒砂现象。

根据对液化的喷出物和地基土层资料的分析,一般认为,当饱和松散的粉细砂埋深不大时最容易发生液化。通过对 1976 年唐山大地震的震害调查,发现粉土也可以发生液化。在唐山大地震时,距震中东南沿海地区曾发生过砂土液化现象,其典型的现象是喷水、冒砂,喷出的水砂流可冲走家具等物品,淹没

了农田和沟渠,房屋出现不均匀沉降,个别地区的地下结构上浮露底。

2.液化的判别及评价

饱和砂土和饱和粉土(不含黄土)的液化判别和地基处理,6度时,一般情况下可不进行判别和处理,但对液化沉降敏感的乙类建筑可按7度的要求进行判别和处理,7~9度时,乙类建筑可按本地区抗震设防烈度的要求进行判别和处理。

地面下存在饱和砂土和饱和粉土(不含黄土、粉质黏土)时,除6度外,应进行液化判别;存在液化土层的地基,应根据建筑的抗震设防类别、地基的液化等级,结合具体情况采取相应的地基处理措施。

饱和的砂土或粉土(不含黄土),当符合下列条件之一时,可初步判别为不液化或可不考虑液化影响:

(1)地质年代为第四纪晚更新世(Q_3)及其以前时,7、8度时可判为不液化。

(2)粉土的黏粒(粒径小于0.005 mm的颗粒)含量百分率,7度、8度和9度分别不小于10、13和16时,可判为不液化土。

注:用于液化判别的黏粒含量系采用六偏磷酸钠作分散剂测定,采用其他方法时应按有关规定换算。

(3)浅埋天然地基的建筑,当上覆非液化土层厚度和地下水位深度符合下列条件之一时,可不考虑液化影响:

$$d_u > d_0 + d_b - 2 \tag{1.7}$$

$$d_w > d_0 + d_b - 3 \tag{1.8}$$

$$d_u + d_w > 1.5d_0 + 2d_b - 4.5 \tag{1.9}$$

式中 d_w ——地下水位深度(m),宜按设计基准期内年平均最高水位采用,也可按近期内年最高水位采用;

d_u ——上覆盖非液化土层厚度(m),计算时宜将淤泥和淤泥质土层扣除;

d_b ——基础埋置深度(m),不超过2 m时应采用2 m;

d_0 ——液化土特征深度(m),可按表1.4采用。

表 1.4 液化土特征深度 m

饱和土类别	7度	8度	9度
粉土	6	7	8
砂土	7	8	9

注:当区域的地下水位处于变动状态时,应按不利的情况考虑。

当饱和砂土、粉土的初步判别认为需进一步进行液化判别时,应采用标准贯入试验判别法判别地面下20 m范围内土的液化;但对液化的判别及评价中规定可不进行天然地基及基础的抗震承载力验算的各类建筑,可只判别地面下15 m范围内土的液化。当饱和土标准贯入锤击数(未经杆长修正)小于或等于液化判别标准贯入锤击数临界值时,应判为液化土。当有成熟经验时,尚可采用其他判别方法。

在地面下20 m深度范围内,液化判别标准贯入锤击数临界值可按式计算:

$$N_{cr} = N_0 \beta [\ln(0.6d_s + 1.5) - 0.1d_w] \sqrt{3/\rho_c} \tag{1.10}$$

式中 N_{cr} ——液化判别标准贯入锤击数临界值;