



全国普通高等学校土木工程专业
“卓越工程师教育培养计划”精品教材

建筑结构 (下)

Architectural Structure

郝庆莉 主编

江苏科学技术出版社

全国普通高等学校土木工程专业“卓越工程师教育培养计划”精品教材

建筑结构(下)

主 编：郝庆莉
副 主 编：韩 青 时金娜 梁恒生
参 编：郭莹莹
主 审：高 娃

编写委员会：(按姓氏音序排列)

白建文	包建业	曹玉生	刁 钰	高爱军
高 娃	郭佳民	郭莹莹	韩 青	郝庆莉
郝贞洪	贺培源	何晓雁	侯永利	李 永
梁恒生	刘炳娟	刘子杰	路 平	时金娜
王 丹	王卓男	吴安利	徐 蓉	杨晓明
张 磊	张淑艳	张振国		

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构. 下/郝庆莉主编. —南京:江苏科学技术出版社, 2013. 3
全国普通高等学校土木工程专业“卓越工程师教育培养计划”精品教材
ISBN 978-7-5537-0897-3

I. ①建… II. ①郝… III. ①建筑结构—高等学校—教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 034455 号

全国普通高等学校土木工程专业“卓越工程师教育培养计划”精品教材
建筑结构(下)

主 编 郝庆莉
责任编辑 刘屹立
特约编辑 李小英
责任校对 郝慧华
责任监制 刘 钧

出版发行 凤凰出版传媒股份有限公司
江苏科学技术出版社
出版社地址 南京市湖南路 1 号 A 楼, 邮编: 210009
出版社网址 <http://www.pspress.cn>
经 销 凤凰出版传媒股份有限公司
印 刷 天津泰宇印务有限公司

开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 9.5
字 数 225 000
版 次 2013 年 3 月第 1 版
印 次 2013 年 3 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5537-0897-3
定 价 20.00 元

图书如有印装质量问题, 可随时向我社出版科调换。

内 容 提 要

本教材主要讲述的内容有：房屋抗震设计基础知识、砌体的组成材料及种类、无筋砌体结构构件的承载力、多层混合结构房屋的静力计算及构造措施、高层建筑结构概述、高层建筑结构荷载与设计要求、框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构。

本教材主要作为高等职业教育土建类专业的教学用书，也可作为岗位培训教材，或供相关技术人员参考。

前 言

本书是根据教育部颁发的《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》等有关文件的精神，以及土木工程专业本科生教学大纲要求编写的。为使学生和读者了解最新国家标准及内容，本书依据《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等新规范、新规程、新标准编写了此教材。

为了全面推进“卓越工程师教育培养计划”，着力提升学生分析问题、解决问题的实际能力，本书无论是从编排体例、章节逻辑结构、理论阐释、例题解析，还是新技术、新工艺及新标准的应用方面，力求简明扼要、通俗易懂、实用有效。理论与实践、知识与能力、概念与例题的有机结合，是本书的重要特点。

本教材由内蒙古工业大学郝庆莉任主编，内蒙古工业大学韩青、时金娜，内蒙古华通招标代理有限公司梁恒生任副主编，内蒙古工业大学郭莹莹参编；内蒙古工业大学高娃担任主审。

由于编者水平有限、编写时间仓促，书中缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正，以便今后修订完善。

编 者
2013年3月

目 录

12	房屋抗震设计基础知识	1
12.1	地震的基本知识	1
12.2	抗震设计的基本要求	5
13	砌体的组成材料及种类	14
13.1	概述	14
13.2	块体和砂浆的种类以及强度等级	14
13.3	砌体的物理力学性能	18
13.4	砌体的强度设计值	21
14	无筋砌体结构构件的承载力	22
14.1	受压构件	22
14.2	局部受压	29
15	多层混合结构房屋的静力计算及构造措施	36
15.1	混合结构房屋的结构布置	36
15.2	混合结构房屋的静力计算方案	37
15.3	多层混合结构房屋墙体的设计计算	42
15.4	多层砌体结构房屋抗震设计的一般规定	45
15.5	多层砌体结构房屋抗震计算要点	48
15.6	多层砖砌体结构房屋抗震构造措施	59
16	高层建筑结构概述	64
16.1	高层建筑结构的特点	64
16.2	高层建筑的结构体系与结构布置	65
16.3	建筑体形和结构总体布置	68
17	高层建筑结构荷载与设计的要求	73
17.1	风荷载	73
17.2	地震作用	77
17.3	荷载效应组合与结构设计要求	83
18	框架结构	88
18.1	框架结构梁、柱截面尺寸估算	88
18.2	框架结构计算简图	88
18.3	多层多跨框架在竖向荷载作用下的内力近似计算-分层法	90
18.4	多层多跨框架在水平竖向荷载作用下的内力近似计算-反弯点法	91
18.5	多层多跨框架在水平荷载作用下的内力计算-改进反弯点法(D 值法)	96
18.6	构造要求	99

19 剪力墙结构	108
19.1 概述	108
19.2 整体剪力墙和小开口剪力墙的计算	111
19.3 联肢墙的计算	112
19.4 壁式框架的计算	115
19.5 剪力墙的截面设计	115
19.6 剪力墙构造要求	121
19.7 连梁截面设计及构造要求	125
20 框架-剪力墙结构	130
20.1 概述	130
20.2 框架-剪力墙结构协同工作分析	132
20.3 框架-剪力墙结构构件的截面设计及设计要求	138
参考文献	142

12 房屋抗震设计基础知识

内容提要

掌握:地震定级、地震烈度、基本烈度、设防烈度。

熟悉:地震特性及震害现象;建筑物抗震设防分类及其设防标准;建筑抗震概念设计的内涵;砂土液化。

了解:软土地基、桩基的抗震设计。

12.1 地震的基本知识

地震是来自地球内部构造运动的一种自然现象。地球每年平均发生 500 万次左右的地震。其中绝大多数地震都很小,但是,强烈地震会给人类带来严重的人身伤亡和经济损失。我国是多震国家,地震发生的地域范围广。为了减轻建筑的地震破坏,避免人员伤亡,减少经济损失,土木工程师等工程技术人员必须对建筑工程进行抗震分析和抗震设计。

12.1.1 地震的类型与成因

地震分为天然地震和人工地震两大类;根据地震的成因,可以把地震分为以下几种:

(1)构造地震:由于地下深处岩石破裂、错动把长期积累起来的能量急剧释放出来,以地震波的形式向四面八方传播出去,到达地面引起的房摇地动称为构造地震。这类地震发生的次数最多,破坏力也最大,约占全世界地震的 90% 以上。

(2)火山地震:由于火山作用,如岩浆活动、气体爆炸等引起的地震称为火山地震。只有在火山活动区才可能发生火山地震,这类地震只占全世界地震的 7% 左右。

(3)陷落地震:由于地下岩洞或矿井顶部塌陷而引起的地震称为陷落地震。这类地震的规模比较小,次数也很少,即使有,也往往发生在溶洞密布的石灰岩地区或大规模地下开采的矿区。

(4)诱发地震:由于水库蓄水、油田注水等活动而引发的地震称为诱发地震。这类地震仅仅在某些特定的水库库区或油田地区发生。

(5)人工地震:地下核爆炸、炸药爆破等人为引起的地面振动称为人工地震。

板块构造学说认为,地球表面的岩石由美洲板块、非洲板块、亚欧板块、印度洋板块、太平洋板块、南极洲板块等若干个板块组成;板块表面岩石层厚度约为 70~100 km,这些板块由于其下岩流层的对流运动而做刚体运动,使板块之间相互挤压和顶撞,从而产生了地应力,当应力积累超过岩体抵抗它的承载极限时,其边缘附近岩石层脆性断裂而引发的地震称为构造地震。

震源垂直向上到地表的距离称为震源深度;按震源的深浅,地震又可分为:震源深度在 70 km 以内的浅源地震;震源深度在 70~300 km 范围内的中源地震;震源深度超过 300 km 的深源地震。世界上发生的绝大部分地震都属于浅源地震。

12.1.2 地震波、地震震级及地震烈度

1. 地震波

地震引起的振动以波的形式从震源向各个方向传播并释放能量,这就是地震波。它包括体波(在地球内部传播)和面波(在地球表面传播),体波又分为纵波和横波。

纵波是由震源向外传播的疏密波(或压缩波),其介质质点的振动方向与波的前进(传播)方向一致,从而使介质不断地压缩和疏松[图 12-1(a)],引起地面垂直振动。纵波的周期短、振幅小、波速快。

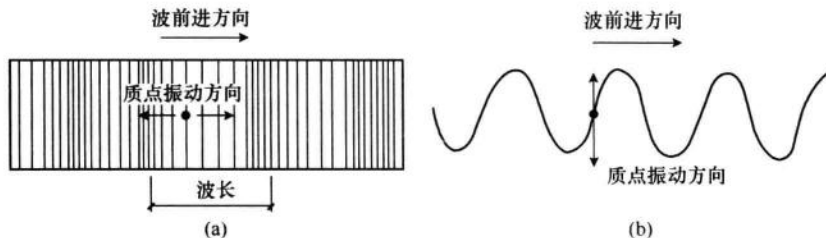


图 12-1 体波质点振动形式

(a) 压缩波; (b) 剪切波

横波是由震源向外传播的剪切波,其介质质点的振动方向与波前进的方向相垂直[图 12-1(b)],引起地面水平振动。横波的周期长、振幅大、波速慢。

面波是体波经地层界面多次反射、折射形成的次生波,其波速比横波波速慢。

在地壳中,纵波传播速度为 7~8 km/s,又称 P 波;横波的波速为 4~5 km/s,又称 S 波。当地震发生时,纵波首先到达,使房屋产生上下颠簸;接着横波到达,使房屋产生水平摇晃;而面波则使建筑物既产生上下颠簸又产生水平摇晃,一般在横波和面波都到达时房屋振动最为剧烈。因面波的能量比体波的大,所以造成建筑物和地表的破坏以面波为主。

2. 地震震级

地震震级是表示一次地震时所释放能量的多少,也是表示地震强度大小的指标。一次地震只有一个震级,目前我国采用的是国际通用的里氏震级 M。

震级 M 每增加一级,地震所释放的能量约增加 30 倍。一般来说,小于 2 级的地震,人们是感觉不到的,只有仪器才能记录下来,称为微震;2~4 级的地震,人就可以感觉到,称为有感地震;5 级以上的地震会造成不同程度的破坏,称为破坏性地震;7 级以上的地震叫作强烈地震或大震;8 级以上的地震称为特大地震。目前,世界历史上最大的地震是 1960 年 5 月 22 日 19 时 11 分发生在南美智利的地震,震级达到 8.9 级。

3. 地震烈度

1) 地震烈度的定义

地震烈度是指某一地区的地面和各类建筑物遭受一次地震影响的平均强弱程度。一

次地震的震级只有一个,距离震中的距离不同,地震的影响程度不同,即烈度不同。一般而言,震级越大,烈度就越大。震中附近地区烈度高;震中距越小烈度就越高;距离震中越远的地区,烈度越低。影响烈度的因素,除了震级、震中距外,还与震源深度、地质构造和地基条件等因素有关。

为评定地震烈度,需要建立一个标准,这个标准称为地震烈度表。世界各国的地震烈度表不尽相同。如日本采用 8 度地震烈度表,欧洲一些国家采用 10 度地震烈度表,我国采用的是 12 度的地震烈度表,也是绝大多数国家采用的标准。地震烈度表见《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010),以下简称《抗震规范》。

按照地震烈度表中的标准可以对承受一次地震影响的地区评定出相应的烈度。具有相同烈度的地区的外包线,称为等烈度线(或等震线)。

2) 基本烈度

一个地区未来 50 年内一般场地条件下可能遭受的具有 10% 超越概率的地震烈度值称为该地区的基本烈度。各地区的基本烈度由《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2001)确定。

3) 设防烈度

按国家规定的权限批准作为一个地区抗震设防依据的地震烈度称为设防烈度,一般情况下,可采用《中国地震动参数区划图》中的地震基本烈度。对已编制抗震设防区划的城市,可按批准的抗震设防烈度进行抗震设防。

12.1.3 地震活动性

地球上的地震主要集中在以下的 4 个地震带。

环太平洋地震带是全球规模最大的地震活动带。全球约 80% 的浅源地震、90% 的中源地震以及差不多所有深源地震,都发生在这一地震带。所释放的地震能量占全球地震总能量的 80%。该地震带是大多数灾难性地震和全球 8 级以上巨大地震的主要发震地带。

欧亚地震带是全球第二大地震活动带,是沿北冰洋、大西洋和印度洋中主要山脉的狭窄浅震活动带,还有地震相当活跃的断裂谷,如东非和夏威夷群岛等。

我国东邻环太平洋地震带,南接欧亚地震带,地震分布相当广泛。我国的主要地震带主要有两条:

(1) 南北地震带:北起贺兰山,向南经六盘山,穿越秦岭沿川西至云南省东北,纵贯南北。地震带宽度各处不一,大致在数十至百余千米左右,分界线由一系列规模很大的断裂带和断陷盆地组成,构造相当复杂。

(2) 东西地震带:主要的东西构造带有两条,北面的一条沿陕西、山西、河北北部向东延伸,直至辽宁北部的千山一带;南面的一条自帕米尔起,经昆仑山、秦岭,直到大别山区。

我国的地震活动主要分布在五个地区的两条地震带上。这五个地区是:①台湾省及其附近海域;②西南地区,主要是西藏、四川西部和云南中西部;③西北地区,主要在甘肃河西走廊、青海、宁夏、天山南北麓;④华北地区,主要在太行山两侧、汾渭河谷、阴山—燕

山一带、山东中部和渤海湾;⑤东南沿海的广东、福建等地。

12.1.4 地震震害

20 世纪以来,我国共发生 6 级以上地震近 800 次,遍布除贵州、浙江两省和香港特别行政区以外所有的省、自治区、直辖市。中国地震活动频率高、强度大、震源浅、分布广,是一个震害严重的国家。1900 年以来,中国死于地震的人数达 55 万之多,占全球地震死亡人数的 53%;1949 年以来,100 多次破坏性地震袭击了 22 个省(自治区、直辖市),其中涉及东部地区 14 个省份,造成 27 万余人丧生,占全国各类灾害死亡人数的 54%,地震成灾面积达 30 多万平方千米,房屋倒塌达 700 万间。其中,汶川地震和玉树地震是我国近年来破坏程度最大的两次地震。

12.1.5 抗震设防目标

抗震设防目标是指建筑结构遭遇不同水准的地震影响时,对结构、构件、使用功能、设备的损坏程度及人身安全的总要求。建筑设防目标要求建筑物在使用期间,对不同强度的地震,应具有不同的抵抗能力,对一般较小的地震,发生的可能性大,故又称多遇地震,这时要求结构不受损坏,在技术上和经济上都可以做到;而对于罕遇的强烈地震,由于发生的可能性小,但地震作用大,在此强震作用下要保证结构完全不损坏,技术难度大,经济投入也大,是不经济的,这时若允许有所损坏,但不倒塌,则将是经济合理的。因此,我国《抗震规范》明确给出了三个水准的设防目标:第一水准,当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震(或称小震)影响时,建筑物一般不受损坏或不需修理仍可继续使用;第二水准,当遭受本地区规定设防烈度的地震(或称中震)影响时,建筑物可能产生一定的损坏,经一般修理或不需修理仍可继续使用;第三水准,当遭受高于本地区规定设防烈度预估的罕遇地震(或称大震)影响时,建筑物可能产生重大破坏,但不致倒塌或发生危及生命的严重破坏,通常将其概括为:“小震不坏,中震可修、大震不倒。”

结构物在强烈地震中不损坏是不可能的,抗震设防的底线是建筑物不倒塌,只要不倒塌就可以大大减少生命财产的损失,减轻灾害。一般在设防烈度小于 6 度地区,地震作用对建筑物的损坏程度较小,可不予考虑抗震设防;在 9 度以上地区,即使采取很多措施,仍难以保证安全,故在抗震设防烈度大于 9 度地区的抗震设计应按有关专门规定执行。所以《抗震规范》适用于 6~9 度地区。

《抗震规范》提出了两阶段设计方法,以实现上述三水准的抗震设防目标。

第一阶段:对绝大多数结构进行多遇地震作用下的结构和构件承载力验算,在此基础上对各类结构按规定要求采取抗震措施,保证小震不坏和中震可修。对于大多数结构,一般只进行第一阶段的设计。

第二阶段:对一些规范规定的结构(有特殊要求的建筑、地震易倒塌的建筑、有明显薄弱层的建筑、不规则的建筑等)除进行第一阶段设计外,尚应进行罕遇地震烈度作用下结构薄弱部位的弹塑性变形验算,并采取相应的构造措施保证大震不倒。

12.1.6 抗震设防分类及抗震设防标准

抗震设防的所有建筑应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)确定其抗震设防类别及抗震设防标准。

抗震设防烈度为6度时,除另有规定外,对乙、丙、丁类建筑可不进行地震作用计算。

12.2 抗震设计的基本要求

由于地震动的随机性和建筑物自身特性的不确定性,使地震造成的破坏程度很难准确预测。因此,进行结构抗震设计时应多因素综合考虑;建筑抗震设计包括抗震概念设计、抗震计算和验算、抗震构造措施。

12.2.1 概念设计

目前地震及结构所受地震作用还有许多规律未被认识,人们在总结历次大地震灾害经验中认识到:一个合理的抗震设计,在很大程度上取决于良好的“概念设计”。为了保证结构具有足够的抗震可靠性而对建筑工程结构做的概念设计主要考虑了以下因素:场地条件和场地土的稳定性;建筑物的平、立面布置及其外形尺寸;抗震结构体系的选取、抗侧力构件的布置以及结构质量的分布;非结构构件与主体结构的关系及其两者之间的锚拉;材料与施工质量等。抗震概念设计主要有以下几点:

(1)选择对建筑抗震有利的场地,宜避开对建筑抗震不利的地段,不应在危险地段建造甲、乙、丙类建筑。对于不利地段,结构工程师应提出避开要求,当无法避开时,应采取有效措施,这样就考虑了地震因场地条件间接引起结构破坏的原因,诸如地基土的不均匀沉降、地震引起的地表错动与地裂。

(2)建筑的平立面布置应符合概念设计的要求,不应采用严重不规则的方案。不规则的建筑,在结构设计时要进行水平地震作用计算和内力调整,并应对薄弱部位采取有效的抗震构造措施。

(3)结构材料选择与结构体系的确定应符合结构抗震的要求。采用哪一种结构材料、什么样的结构体系,应经技术经济条件比较综合确定。同时力求结构的延性好、强度与重力比值大、匀质性好、正交各向同性,尽量降低房屋重心,充分发挥材料的强度,并提出了结构两个主轴方向的动力特性(周期和振型)相近的抗震概念。

(4)尽可能设置多道抗震防线。地震有一定的持续时间,而且可能多次往复作用,根据对地震后倒塌的建筑物的分析,我们知道地震的往复作用对结构破坏严重,而建筑的最后倒塌则是结构因破坏而丧失了承受重力荷载的能力。适当处理构件的强弱关系,使其形成多道防线,是增加结构抗震能力的重要措施。例如单一的框架结构,框架就成为唯一的抗侧力构件,那么采用“强柱弱梁”型延性框架,在水平地震作用下,梁的屈服先于柱的屈服,就可以做到利用梁的变形消耗地震能量,使框架柱退居到第二道防线的位置。

(5)具有合理的刚度和承载力分布以及与之匹配的延性。要使建筑物在遭受强烈地震时,具有很强的抗倒塌能力,最理想的是使结构中的所有构件及构件中的所有杆件都具有较高的延性,然而实际工程中很难做到。有选择地提高结构中的重要构件以及关键杆

件的延性是比较经济有效的办法。

(6)确保结构的整体性。各构件之间的连接必须可靠并符合下列要求:构件节点的承载力不应低于其连接构件的承载力,当构件屈服、刚度退化时,节点应保持承载力和刚度不变;预埋件的锚固承载力不应低于连接件的承载力;装配式的连接应保证结构的整体性,各抗侧力构件必须有可靠的措施以确保空间协同工作;结构应具有连续性,注重施工质量,避免施工不当使结构的连续性遭到削弱甚至破坏。

12.2.2 场地划分

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。历史震害资料表明,建筑物震害除与地震类型、结构类型等有关外,还与覆盖层厚度等密切相关。

覆盖层厚度是指从地表面至地下基岩界面的距离。从地震波传播的观点看,基岩界面是地震波传播途径中的一个强烈的折射与反射面,此界面以下的岩层振动刚度要比上部土层的相应值大很多。由此工程上常这样判定:当下部土层的剪切波速达到上部土层剪切波速的 2.5 倍,且下部土层中没有剪切波速小于 400 m/s 的岩土层时,该下部土层就可以近似看作基岩。由于工程地质勘察手段往往难以取得深部土层的剪切波速数据,为了实用上的方便,我国《抗震规范》进一步采用土层的绝对刚度定义覆盖层厚度,即:地下基岩或剪切波速大于 500 m/s 的坚硬土层至地表面的距离,称为“覆盖层厚度”。

不同场地上的地震动,其频谱特征有明显的差别。为了反映这一特点,我国建筑设计规范将建筑场地划分为 4 个不同的类别,见表 12-1。

从表 12-1 可见,场地类别是根据土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度两个指标综合确定的。土层等效剪切波速 v_{se} 则应按下式计算:

$$v_{se} = d_0 / \sum_{i=1}^n (d_i / v_{si}) \quad (12-1)$$

式中: d_0 ——计算深度,取覆盖层厚度和 20 m 两者的较小值;

n ——计算深度范围内土层的分层数;

v_{si} ——第 i 层土的剪切波速;

d_i ——第 i 层土的厚度。

对于 10 层和高度 24 m 以下的丙类建筑及丁类建筑,当无实测剪切波速时,也可以根据岩土名称和性状,按表 12-2 划分土的类型,并利用当地经验在该表所示的波速范围内估计各土层的剪切波速,其中 I 类分为 I_0 、 I_1 两个亚类。表中 v_s 是岩石的剪切波速。

表 12-1 各类建筑场地的覆盖层厚度

(单位:m)

等效剪切波速(m/s)	场地类别				
	I_0 类	I_1 类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类
$v_s > 800$	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	15~80	> 80

表 12-2 土的类型划分

土的类型	岩土名称和性状	土层剪切波速范围/(m/s)
岩石	坚硬、软硬且完整的岩石	$v_s > 800$
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, $f_{ak} > 150$ 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, $f_{ak} \leq 150$ 的黏性土和粉土, $f_{ak} > 130$ 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, $f_{ak} \leq 130$ 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土承载力特征值,单位为 kPa。

【例题 12-1】 已知某建筑场地的钻孔地质资料见表 12-3,试确定该场地的类别。

表 12-3 钻孔资料

土层底部深度/m	土层厚度/m	岩土名称	土层剪切波速/(m/s)
1.5	1.5	杂填土	180
3.5	2.0	粉土	240
7.5	4.0	细砂	310
15.5	8.0	砾砂	520

【解】

1) 确定覆盖层厚度

因为地表下 7.5 m 以下土层的 $v_s = 520 \text{ m/s} > 500 \text{ m/s}$,故 $d_0 = 7.5 \text{ m}$ 。

2) 计算等效剪切波速,按下式有

$$\begin{aligned} v_{se} &= 7.5 / \left(\frac{1.5}{180} + \frac{2.0}{240} + \frac{4.0}{310} \right) \\ &= 253.6 \end{aligned}$$

查表 12-1, v_{se} 位于 250~500 m/s 之间,且 $d_0 > 5 \text{ m}$,故属于 II 类场地。

12.2.3 天然地基基础抗震验算

1. 地基抗震承载力

地基抗震承载力的计算采取在地基承载力的基础上乘以提高系数的方法。我国《抗震规范》规定,在进行天然地基抗震验算时,地基抗震承载力按下式计算:

$$f_{aE} = \xi_a \cdot f_a \tag{12-2}$$

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,按表 12-4 采用;

f_a ——深宽修正后的地基承载力特征值,按现行《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)采用。

表 12-4 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, $150 \text{ kPa} \leq f_{ak} < 300$ kPa 的黏性土和粉土,坚硬黄土	1.3
稍密的细、粉砂, $100 \text{ kPa} \leq f_{ak} < 150$ 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

地基土抗震承载力一般高于地基土静承载力,其原因可以从地震作用下只考虑地基土的弹性变形而不考虑永久变形这一角度得到解释。

2. 地基抗震验算

地震区的建筑物,首先必须根据静力设计的要求确定基础尺寸,并对地基进行强度和沉降量的核算,然后,根据需要进行进一步的地基抗震强度验算。

当需要验算地基抗震承载力时,应将建筑物上各类荷载效应和地震作用效应组合,并取基础底面的压力为直线分布。具体验算要求是:

$$p \leq f_{aE} \quad (12-3)$$

$$p_{\max} \leq 1.2 f_{aE} \quad (12-4)$$

式中: p ——地震作用效应标准组合的基础底面平均压力值;

$p_{\max}$ ——地震作用效应标准组合的基础边缘的最大压力值。

同时,对于高宽比大于 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);对于其他建筑,则要求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的 15%。

12.2.4 地基土液化及其防治

1. 地基土液化及其危害

饱和松散的砂土或粉土(不含黄土),地震时易发生液化现象,使地基承载力丧失或减弱,甚至喷水冒砂,这种现象一般称为砂土液化或地基土液化。其产生的机理是:地震时,饱和砂土和粉土颗粒在强烈振动下发生相对位移,颗粒结构趋于压密,颗粒间孔隙水来不及排泄而受到挤压,使孔隙水压力急剧增加。当孔隙水压力上升到与土颗粒所受到的总的正压应力接近或相等时,土粒之间因摩擦产生的抗剪能力消失,土颗粒便形同“液体”一样处于悬浮状态,形成所谓液化现象。

液化使土体的抗震强度丧失,引起地基不均匀沉陷并引发建筑物的破坏甚至倒塌。发生于 1964 年的美国阿拉斯加地震和日本新潟地震,都出现了因大面积砂土液化而造成的建筑物的严重破坏,从而,引起了人们对地基土液化及其防治问题的关注。在我国,

1975 年海城地震和 1976 年唐山地震也都发生了大面积的地基液化震害。我国学者在总结了国内外大量震害资料的基础上,经过长期研究,提出了较为系统而实用的液化判别及液化防治措施。

2. 液化的判别

地基土液化判别分为初步判别和标准贯入试验判别两大步骤。

1) 初步判别

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)及其以前时且处于 7 度或 8 度时可判别为不液化;②粉土的黏粒(粒径小于 0.005 mm 的颗粒)含量百分率 $p_c(\%)$ 当烈度为 7 度、8 度、9 度时分别大于 10、13、16 时,可判别为不液化;③地下水位深度和上覆盖非液化土层厚度满足下式(12-5)、(12-6)或(12-7)之一时可,不考虑液化影响。

$$d_w > d_o + d_b - 3 \quad (12-5)$$

$$d_u > d_o + d_b - 2 \quad (12-6)$$

$$d_u + d_w > 1.5d_o + 2d_b - 4.5 \quad (12-7)$$

式中: d_w ——地下水位深度(m)按建筑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_b ——基础埋置深度(m)小于 2 m 时,应采用 2 m;

d_o ——液化土特征深度按表 12-5 采用;

d_u ——上覆盖非液化土层厚度(m),计算时应注意将淤泥和淤泥质土层扣除。

表 12-5 液化土特征深度

(单位: m)

饱和土类别	烈 度		
	7	8	9
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。

2) 标准贯入试验判别

当上述所有条件均不能满足时,地基土存在液化可能。此时,应采用标准贯入试验进一步判别其是否液化。

标准贯入试验设备由穿心锤(标准重量 63.5 kg)、触探杆、贯入器等组成(图 12-2)。试验时,先用钻具钻至试验土层标高以上 15 cm,再将标准贯入器打至试验土层标高位置,然后,在锤的落距为 76 cm 的条件下,连续打入土层 30 cm,记录所得锤击数为 $N_{63.5}$ 。

当地面下 20 m 深度范围土的实测标准贯入锤击数 $N_{63.5}$ 小于按式(12-8)确定的下限值 N_{cr} 时,则应判为液化土,否则为不液化土。

$$N_{cr} = N_0 \beta [\ln(0.6d_s + 1.5) - 0.1d_w] \sqrt{3/\rho_c} \quad (12-8)$$

式中: N_{cr} ——液化判别标准贯入锤击数临界值;

N_0 ——液化判别标准贯入锤击数基准值,按表 12-6 采用;

d_s ——饱和土标准贯入点深度(m);

d_w ——地下水位深度(m);

ρ_c ——土体黏粒含量百分率,当小于 3 或为砂土时,取 $\rho_c=3$;
 β ——调整系数,设计地震第一组取 0.80,第二组取 0.95,第三组取 1.05。

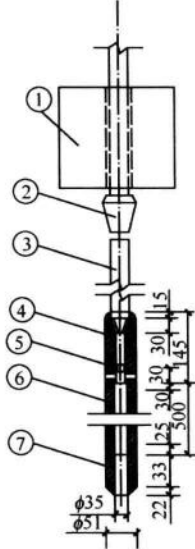


图 12-2 标准贯入试验设备示意图

①穿心锤;②锤垫;③触探杆;④贯入器头;⑤出水孔;⑥贯入器身;⑦贯入器靴

表 12-6 液化判别标准贯入锤击数基准值 N_0

设计基本地震加速度(g)	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
液化判别标准贯入锤击数基准值	7	10	12	16	19

3. 液化地基的评价

当经过上述两步判别证实地基土确实存在液化趋势后,应进一步定量分析、评价液化土可能造成的危害程度;通过计算地基液化指数来实现。

地基土的液化指数可按下式确定:

$$I_{IE} = \sum_{i=1}^n (1 - \frac{N_i}{N_{cri}}) d_i W_i \tag{12-9}$$

式中: I_{IE} ——液化指数;

n ——在判别深度范围内每一个钻孔标准贯入试验点的总数;

N_i, N_{cri} ——分别为第 i 点标准贯入锤击数的实测值和临界值,当实测值大于临界值时应取临界值的数值,当只需要判别 15 m 范围以内的液化时,15 m 以下的实测值可按临界值采用;

d_i ——第 i 点所代表的土层厚度(m),可采用与该标准贯入试验点相邻的上、下两标准贯入试验点深度差的一半,但上界不高于地下水位深度,下界不深于液化深度;

W_i ——第 i 土层单位土层厚度的层位影响权函数值(单位为 m^{-1}),当该层中点深度不大于 5 m 时应采用 10,等于 20 m 时应采用零值,5~20 m 时应按线性内