

建筑抗震设计

上官子昌 经东风 王新明 等编著



JIANZHU KANGZHEN SHEJI



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



建筑抗震设计

上官子昌 经东风 王新明 等编著

机械工业出版社

本书以现行国家标准《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)及其他相关的规范、标准、规程编写而成,主要介绍了建筑结构抗震设计过程中涉及的知识,对保证建筑结构的质量具有很强的实用性和指导性。主要内容包括建筑抗震设计基础,建筑场地、地基和基础,地震作用和结构抗震验算,多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计,多层砌体和底部框架砌体房屋抗震设计,多层和高层钢结构房屋的抗震设计,单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计,建筑隔震和消能减震设计等。

本书可作为土木工程专业的专业基础课教材,也可作为从事建筑结构抗震设计和施工等技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑抗震设计 / 上官子昌, 经东风, 王新明等编著. —北京: 机械工业出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-111-38235-5

I. ①建… II. ①上… ②经… ③王… III. ①建筑结构—抗震设计
IV. ①TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 086221 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 闫云霞 责任编辑: 闫云霞 陈将浪

版式设计: 刘怡丹 责任校对: 刘雅娜

封面设计: 路恩中 责任印制: 乔 宇

北京汇林印务有限公司印刷

2012 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm 13.5 印张·329 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-38235-5

定价: 39.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010)88379649

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

编 委 会

主 编 上官子昌 经东风 王新明

副 主 编 邹海峰

参 编 (按姓氏笔画排序)

于海利 白雅君 石 琳 江 宁

李亚楠 陈 达 陈翠翠 房建兵

杨 波 战 霞 蒋大煌

法律顾问 白雅君

前 言

地震是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;人们感觉到的地震仅占地震总量的 1% 左右,但这些为数不多的地震,却给人们带来了无可挽回的巨大经济、财产损失和触目惊心的人身伤亡。据对世界上 130 次伤亡巨大的地震震害资料所做的统计表明,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,据中国地震局统计,仅 2008 年,中国 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性最强、波及范围最大的一次地震。这起历史罕见的地震灾害所造成的巨大破坏,举国震惊,举世关注,所以加强抗震设防尤为重要。

本书依据现行的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《建筑抗震鉴定标准》(GB 50023—2009)、《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)等标准、规范、规程,采用“导读”和“详解”的结构形式进行编排和组织:“导读”通过结构框图的形式将该节内容之间的关系清楚展现,“详解”则将“导读”中的知识点进行详细讲解。理论与实践相结合,更注重实际经验的运用;结构体系上重点突出、详略得当,还注意了知识的融贯性,突出整合性的编写原则。

本书可作为土木工程专业的专业基础课教材,也可作为从事建筑结构抗震设计和施工等技术人员参考用书。

由于编者水平有限,书中缺点和不当之处在所难免,恳请广大读者批评指正,以便进一步修改和完善。

编 者
2011. 12.

目 录

前言

第一章 建筑抗震设计基础..... 1

第一节 地震基础知识 1

第二节 建筑抗震设防 9

第三节 建筑抗震概念及性能化设计 ... 12

第二章 建筑场地、地基和基础..... 22

第一节 场地 22

第二节 地基和基础 27

第三节 桩基 37

第三章 地震作用和结构抗震验算 42

第一节 单质点弹性体水平地震作用 ... 42

第二节 多质点弹性体水平地震作用 ... 54

第三节 结构竖向地震作用 64

第四节 结构抗震验算 66

第四章 多层和高层钢筋混凝土房屋

抗震设计 72

第一节 震害影响 72

第二节 房屋抗震结构的选型与布置 ... 75

第三节 钢筋混凝土结构抗震计算 83

第四节 钢筋混凝土结构抗震

构造措施 94

第五章 多层砌体和底部框架砌体房屋

抗震设计..... 106

第一节 多层砌体房屋的选型与布置 ... 106

第二节 多层砌体房屋抗震计算 111

第三节 抗震构造措施 119

第四节 底部框架-抗震墙砌体房屋

抗震设计 131

第六章 多层和高层钢结构房屋的

抗震设计..... 140

第一节 多层和高层钢结构房屋的

选型与布置 140

第二节 多层和高层钢结构房屋的

抗震计算与设计 145

第三节 多层和高层钢结构房屋的

抗震构造措施 151

第七章 单层钢筋混凝土柱厂房

抗震设计..... 157

第一节 单层钢筋混凝土柱厂房结构

选型与布置 157

第二节 单层钢筋混凝土柱厂房

抗震计算 159

第三节 单层钢筋混凝土柱厂房抗震

构造措施 181

第八章 建筑隔震和消能减震设计..... 188

第一节 房屋隔震设计 188

第二节 房屋消能减震设计 199

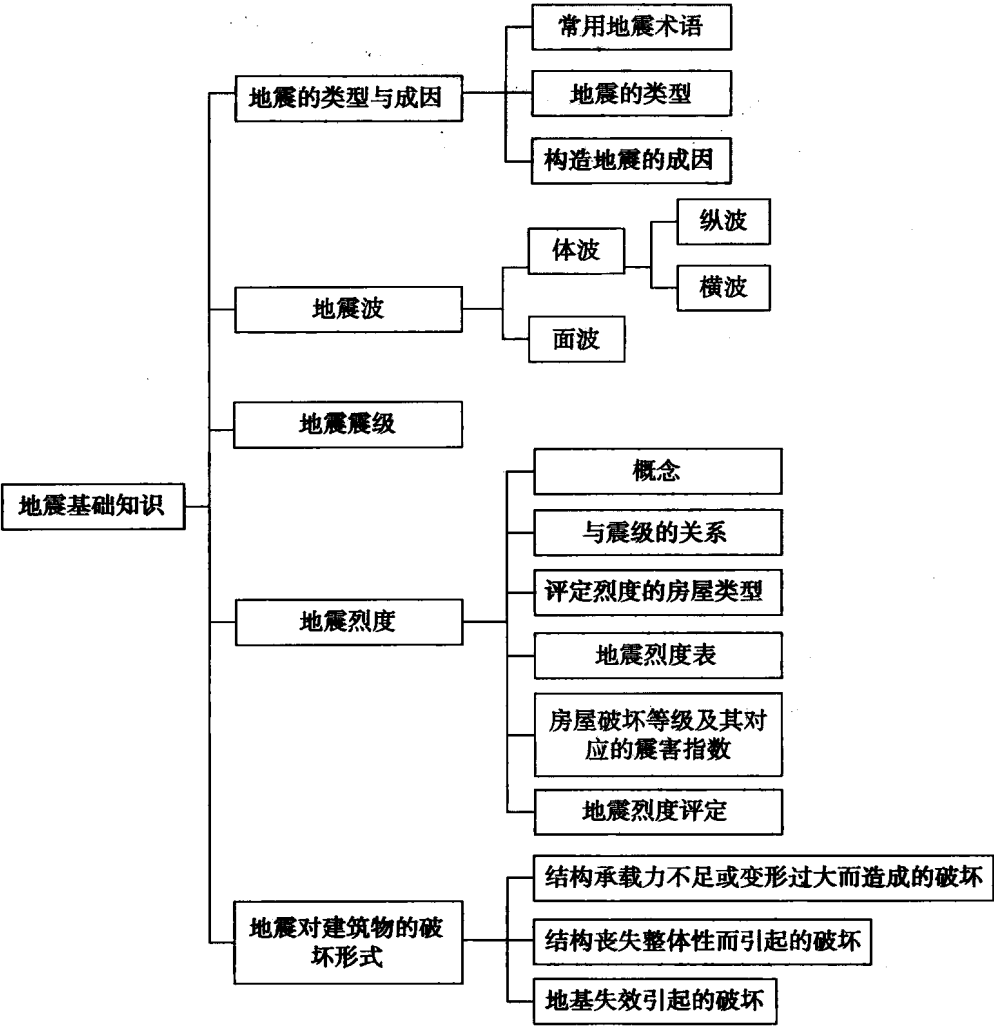
参考文献..... 208

第一章 建筑抗震设计基础

第一节 地震基础知识

本节导读：

地震是地球由于内部运动累积的能量突然释放或地壳中空穴的顶板塌陷等原因，使岩体剧烈振动，并以波的形式向地表传播而引起的地面颠簸与摇晃。地震主要有火山地震、陷落地震、人工诱发地震及构造地震。在建筑抗震设计中所指的地震通常是构造地震。本节结构框图如下：



◆地震的类型与成因

地震发生时,在地球内部产生地震波的位置称为震源。震源到地面的垂直距离称为震源深度。震源在地表的垂直投影点称为震中。在地震影响范围内,地表某处至震中的距离称为震中距。在同一地震中,具有相同地震烈度的地点连线称为等震线。等震线上烈度最高的区域称为极震区。常用地震术语示意图如图 1-1 所示。

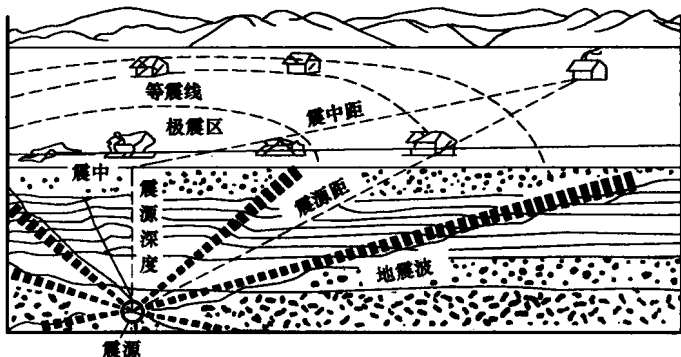


图 1-1 常用地震术语示意图

地震按震源的深浅分为:震源深度在 70km 以内的为浅源地震;震源深度在 70~300km 之间的为中源地震;震源深度超过 300km 的为深源地震。我国发生的绝大部分地震都属于浅源地震。一般地讲,震源浅的地震破坏性大,震源深的地震破坏性小。

地震按其产生的原因,主要有火山地震、陷落地震、人工诱发地震及构造地震。火山地震是由火山爆发引起的;陷落地震是由地壳中空穴的顶板陷落引起的;人工诱发地震是由于人类活动,如工业爆破,核爆破,地下抽液,注液,采矿,水库蓄水等引起的;构造地震则是由于地壳构造运动使岩层发生断裂、错动而引起的地面振动。上述地震中,构造地震破坏作用大,影响范围广,是房屋建筑抗震设防研究的主要对象。

构造地震是地球内部构造活动的结果。地球内部在不停地运动,存在着巨大的能量,岩层在巨大能量的作用下发生变形,逐步积累地应力(孕震);同时,岩层有可能在流体等因素作用下,导致其强度降低(弱化)。当地应力达到并超过岩层薄弱部位的承受极限时,该处岩层就会断裂或错动(发震),长期积蓄的能量得到突然释放,释放的能量一部分以波的形式向四周传播直至地表,引起地面振动。

板块构造学说可解释地应力的成因。地球表面的岩石层并不是整体一块,而是被划分成若干板块,即欧亚板块、美洲板块、非洲板块、太平洋板块、澳大利亚板块和南极板块。板块之间在地幔物质对流及地球自转等动力因素作用下,不停地互相插入、摩擦、碰撞、挤压,从而产生了地应力。全球大部分的地震带都分布在板块边界上。

◆地震波

地震发生时,地球内岩体断裂、错动产生的振动,即地震动,以波的形式通过介质从震源向四周传播,这就是地震波。地震波是一种弹性波,它包括体波和面波。

1. 体波

在地球内部传播的波称为体波,体波有纵波和横波两种形式。

(1)纵波。纵波是由震源向四周传播的压缩波(图 1-2a),又称为 P 波。介质质点的振动方向与波的传播方向一致,引起地面垂直振动。纵波的周期短,振幅小,波速快。

在地壳内,纵波的速度一般为 200~1400m/s。纵波的波速可以按照下式计算

$$v_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1-1)$$

式中 E ——介质的弹性模量;

μ ——介质的泊松比;

ρ ——介质的密度。

纵波引起地面垂直方向的振动。

(2)横波。横波是由震源向四周传播的剪切波(图 1-2b),又称为 S 波。介质质点的振动方向与波的传播方向垂直,引起地面水平振动。横波的周期相对较长,振幅大,波速慢。

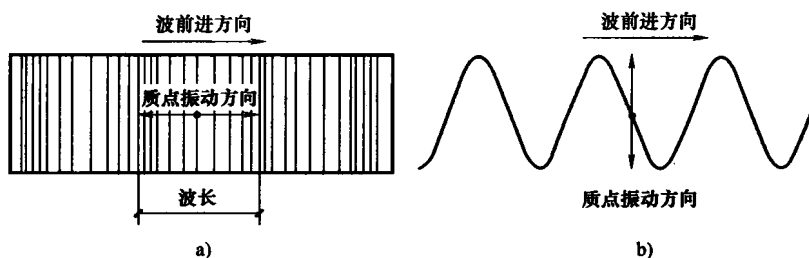


图 1-2 体波质点振动形式

a) 压缩波 b) 剪切波

在地壳内,横波的波速一般为 100~800m/s。横波的波速可以按照下式计算

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1-2)$$

式中 G ——介质的剪切弹性模量。

其余符号意义与式(1-1)的相同。

横波引起地面水平方向的振动。

当 $\mu=1/4$ 时,由式(1-1)和式(1-2)可得

$$v_p = \sqrt{3}v_s \quad (1-3)$$

综上所述,纵波(P 波)比横波(S 波)传播速度快。

2. 面波

沿地球表面传播的波称为面波。面波有瑞雷波(R 波)和乐夫波(L 波)两种形式。瑞雷波在传播时,质点在波的前进方向与地表法向组成的平面内作逆时的椭圆运动(图 1-3),会引起地面晃动;乐夫波在传播时,质点在与波的前进方向垂直的水平方向作蛇形运动。面波速度最

慢,周期长,振幅大,比体波衰减慢。

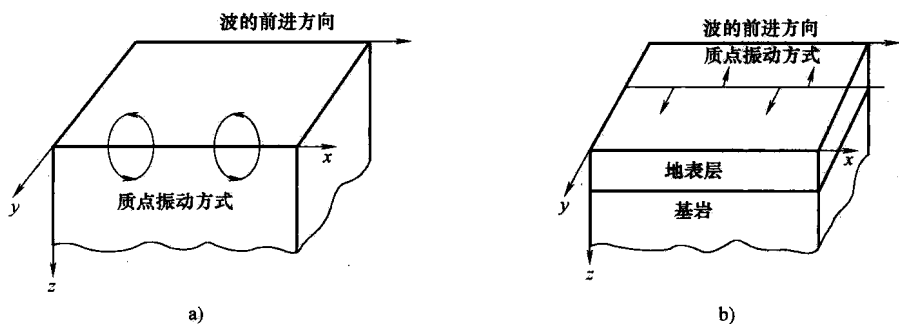


图 1-3 面波质点振动方式

a) 瑞雷波 b) 乐夫波

综上所述,地震时纵波最先到达,横波次之,面波最慢;就振幅而言,面波最大。当横波和面波都到达时振动最为强烈,面波的能量大,是引起地表和建筑物破坏的主要原因。由于地震波在传播的过程中逐渐衰减,随震中距的增加,地面振动逐渐减弱,地震的破坏作用也逐渐减轻。

◆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 ,并考虑了震中距小于 100km 的影响,即按下式计算

$$M = \lg A + R(\Delta) \quad (1-4)$$

式中 A ——地震记录图上量得的以 μm 为单位的最大水平位移(振幅);

$R(\Delta)$ ——随震中距而变化的起算函数。

震级 M 与地震释放的能量 E (尔格 erg)之间的关系为

$$\lg E = 1.5M + 11.8 \quad (1-5)$$

式(1-5)表明,震级 M 每增加一级,地震所释放的能量 E 约增加 30 倍。2~4 级的浅震,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 级以上的地震称为强烈地震或大震。

◆地震烈度

1. 概念

地震烈度是指地震对地表和建筑物影响的平均强弱程度。对于一次地震来说,只有一个震级,但不同地点所遭受影响的强弱程度却不同。一般而言,震中距不同,地震烈度也不同,震中距越大则烈度越低;反之则烈度越高。但在同一地区,有时也会因局部场地的地形和地质条件等影响,出现局部烈度较低或较高的地震异常区。

地震烈度划分为 12 等级,分别用罗马数字 I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX、X、XI、XII 表示。

2. 与震级的关系

震中烈度的高低,主要取决于地震震级和震源深度。震级大、震源浅,则震中烈度高。根据我国的地震资料表明,浅源地震的震中烈度 I_0 与地震震级 M 的经验公式如下

$$M = 0.58I_0 + 1.5 \quad (1-6)$$

震中烈度与地震震级的大致关系见表 1-1。

表 1-1 震中烈度与地震震级的大致关系

震级 M	2	3	4	5	6	7	8	8 以上
震中烈度 I_0	1~2	3	4~5	6~7	7~8	9~10	11	12

3. 评定烈度的房屋类型

用于评定烈度的房屋,包括以下三种类型:

- (1) A 类:木构架和土、石、砖墙建造的旧式房屋。
- (2) B 类:未经抗震设防的单层或多层砖砌体房屋。
- (3) C 类:按照Ⅶ度抗震设防的单层或多层砖砌体房屋。

4. 地震烈度表

1999 年的《中国地震烈度表》(GB/T 17742—1999)自发布实施以来,在地震烈度评定中发挥了重要作用。由于国家经济的发展,城乡房屋结构发生了很大变化,有抗震设防的建筑的建造比例增加,同时旧式民房仍然存在,这些都需要在地震烈度评定中加以考虑,因此由中国地震局对《中国地震烈度表》(GB/T 17742—1999)进行了修订,并由中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会联合发布了新的《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008),修订中保持了与原地震烈度表的一致性和继承性,增加了评定地震烈度的房屋类型,修改了在地震现场不便操作或不常出现的评定指标,见表 1-2。

表 1-2 中国地震烈度(GB/T 17742—2008)

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		类型	震害程度	平均震害指数		峰值加速度/ (m/s^2)	峰值速度/ (m/s)
I	无感	—	—	—	—	—	—
II	室内个别静止中的人有感觉	—	—	—	—	—	—
III	室内少数静止中的人有感觉	—	门、窗轻微作响	—	悬挂物微动	—	—
IV	室内多数人、室外少数人有感觉,少数人梦中惊醒	—	门、窗作响	—	悬挂物明显摆动,器皿作响	—	—
V	室内绝大多数人、室外多数人有感觉,多数人梦中惊醒	—	门窗、屋顶、屋架颤动作响,灰土掉落,个别房屋的墙体抹灰出现细微裂缝,个别屋顶烟囱掉砖	—	悬挂物大幅度晃动,不稳定器物摇动或翻倒	0.31 (0.22~0.44)	0.33 (0.02~0.04)

(续)

地震 烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		类型	震害程度	平均震害指数		峰值加速度/ (m/s^2)	峰值速度/ (m/s)
VI	多数人站立不稳,少数人惊逃户外	A	少数中等破坏,多数轻微破坏和/或基本完好	0.00~0.11	家具和物品移动;河岸和松软土出现裂缝,饱和砂层出现喷砂冒水;个别独立砖烟囱轻度裂缝	0.63 (0.45~0.89)	0.06 (0.05~0.09)
		B	个别中等破坏,少数轻微破坏,多数基本完好				
		C	个别轻微破坏,大多数基本完好	0.00~0.08			
VII	大多数人惊逃户外,骑自行车的人有感觉,行驶中的汽车驾、乘人员有感觉	A	少数毁坏和/或严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.09~0.31	物体从架子上掉落;河岸出现塌方,饱和砂层常见喷水冒砂,松软土地地上地裂缝较多;大多数独立砖烟囱中等破坏	1.25 (0.09~1.77)	0.13 (0.10~0.18)
		B	少数中等破坏,多数轻微破坏和/或基本完好				
		C	少数中等和/或轻微破坏,多数基本完好	0.07~0.22			
VIII	多数人摇晃颠簸,行走困难	A	少数毁坏,多数严重和/或中等破坏	0.29~0.51	干硬土上出现裂缝,饱和砂层绝大多数喷砂冒水;大多数独立砖烟囱严重破坏	2.50 (1.78~3.53)	0.25 (0.19~0.35)
		B	个别毁坏,少数严重破坏,多数中等和/或轻微破坏				
		C	少数严重和/或中等破坏,多数轻微破坏	0.20~0.40			

(续)

地震 烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		类型	震害程度	平均震害指数		峰值加速度/ (m/s ²)	峰值速度/ (m/s)
Ⅸ	行动的人 摔倒	A	多数严重破坏或/和毁坏	0.49~0.71	干硬土上多处出现裂缝,可见基岩裂缝、错动,滑坡、塌方常见;独立砖烟囱多数倒塌	5.00 (3.54~7.07)	0.50 (0.36~0.71)
		B	少数毁坏,多数严重和/或中等破坏				
		C	少数毁坏和/或严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.38~0.60			
Ⅹ	骑自行车的人 会摔倒,处于不稳状态的人 会摔离原地,有抛起感	A	绝大多数毁坏	0.69~0.91	山崩和地震断裂出现,基岩上拱桥破坏;大多数独立砖烟囱从根部破坏或倒毁	10.00 (7.08~14.14)	1.00 (0.72~1.41)
		B	大多数毁坏				
		C	多数毁坏和/或严重破坏	0.58~0.80			
Ⅺ	—	A	绝大多数毁坏	0.89~1.00	地震断裂延续很大;大量山崩滑坡	—	—
		B		0.78~1.00			
		C					
Ⅻ	—	A	几乎全部毁坏	1.00	地面剧烈变化,山河改观	—	—
		B					
		C					

注:1. 表中给出的“峰值加速度”和“峰值速度”是参考值,括号内给出的是变动范围。

2. 数量词采用个别、少数、多数、大多数和绝大多数,其范围为:个别为10%以下;少数为10%~45%;多数为40%~70%;大多数为60%~90%;绝大多数为80%以上。

5. 房屋破坏等级及其对应的震害指数

房屋破坏等级分为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏五类,其定义和对应的震害指数 d 如下:

(1)基本完好。承重和非承重构件完好,或个别非承重构件轻微损坏,不加修理可继续使用。对应的震害指数范围为 $0 \leq d < 0.10$ 。

(2)轻微破坏。个别承重构件出现可见裂缝,非承重构件有明显裂缝,不需要修理或稍加修理即可继续使用。对应的震害指数范围为 $0.10 \leq d < 0.30$ 。

(3)中等破坏。多数承重构件出现轻微裂缝,部分有明显裂缝,个别非承重构件破坏严重,需要一般修理后可使用。对应的震害指数范围为 $0.30 \leq d < 0.55$ 。

(4)严重破坏。多数承重构件破坏较严重,非承重构件局部倒塌,房屋修复困难。对应的震害指数范围为 $0.55 \leq d < 0.85$ 。

(5) 毁坏。多数承重构件严重破坏,房屋结构濒于崩溃或已倒毁,已无修复可能。对应的震害指数范围为 $0.85 \leq d < 1.00$ 。

6. 地震烈度评定

(1) 评定地震烈度时, I ~ V 度应以地面上及底层房屋中的人的感觉和其他震害现象为主; VI ~ X 度应以房屋震害为主,参照其他震害现象。当震害程度与平均震害指数的评定结果不同时,应以震害程度的评定结果为主,并综合考虑不同类型房屋的平均震害指数, XI 度和 XII 度应综合考虑房屋震害和地表震害。

(2) 以下三种情况的地震烈度评定结果,应进行适当调整:

1) 当采用高楼上人的感觉和器物反应来评定地震烈度时,适当降低评定值。

2) 当采用按地震裂度低于或高于 VII 度进行抗震设计的房屋的震害程度和平均震害指数来评定地震烈度时,适当降低或提高评定值。

3) 当采用建筑质量特别差或特别好的房屋的震害程度和平均震害指数来评定地震烈度时,适当降低或提高评定值。

(3) 当计算的平均震害指数值位于表 1-2 中地震烈度对应的平均震害指数的重叠搭接区间时,可参照其他判别指标和震害现象综合判定地震烈度。

(4) 各类房屋平均震害指数 D 可按式(1-7)计算

$$D = \sum_{i=1}^5 d_i \lambda_i \quad (1-7)$$

式中 d_i ——房屋破坏等级为 i 的震害指数;

λ_i ——破坏等级为 i 的房屋破坏比,用破坏面积与总面积之比或破坏栋数与总栋数之比表示。

(5) 农村可按自然村城镇可按街区为单位进行地震烈度评定,面积以 1km^2 为宜。

(6) 当有自由场地强震动记录时,水平方向的地震动峰值加速度和峰值速度可作为综合评定地震烈度的参考指标。

◆ 地震对建筑物的破坏形式

建筑物的破坏一部分是由地表破坏引起,属于静力破坏;而大部分破坏是由于地震作用引起的动力破坏,因此结构物动力破坏机理的分析,是结构抗震研究的重点和结构抗震设计的基础。建筑物的破坏主要有:

1. 结构承载力不足或变形过大而造成的破坏

地震时,地震作用(地震惯性力)附加于建(构)筑物上,使其内力和位移增大,一般改变受力形式,导致结构构件的抗剪、抗弯、抗压等强度不足或结构变形过大而破坏,如墙体开裂、混凝土压酥、房屋倒塌等。

2. 结构丧失整体性而引起的破坏

结构构件的共同工作保证了结构的整体性。在地震时,结构物一般进入弹塑性变形阶段。若节点强度不足、延性不够、主要竖向承重构件失稳等就会使结构丧失整体性,造成局部或整体倒塌破坏。

3. 地基失效引起的破坏

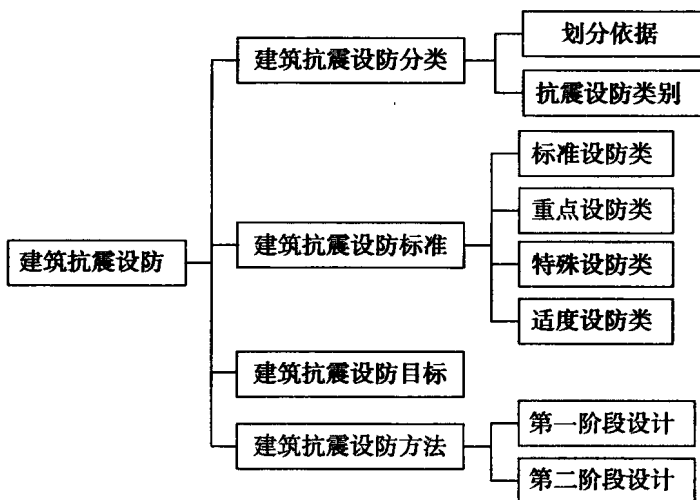
在可液化地基区域,当有强烈地震作用时,由于地基产生液化而使其承载力下降或消失,

引起整个建(构)筑物倾斜、倒塌而破坏。

第二节 建筑抗震设防

本节导读：

建筑抗震设防就是为达到抗震效果,在工程建设时对建筑物进行抗震设计并采取抗震措施。抗震措施是指除地震作用计算和抗力计算以外的抗震设计内容,包括抗震构造措施。本节结构框图如下:



【详 解】

◆建筑抗震设防分类

建筑抗震设防分类是根据建筑遭遇地震破坏后,可能造成人员伤亡、直接和间接经济损失、社会影响的程度及其在抗震救灾中的作用等因素,对各类建筑所做的设防类别划分。

1. 划分依据

建筑抗震设防类别划分,应根据下列因素的综合分析确定:

- (1)建筑破坏造成的人员伤亡、直接和间接经济损失及社会影响的大小。
- (2)城镇的大小、行业的特点、工矿企业的规模。
- (3)建筑的使用功能失效后,对全局的影响范围大小,以及对抗震救灾的影响及恢复的难易程度。
- (4)建筑各区段的重要性有显著不同时,可按区段划分抗震设防类别。下部区段的类别不应低于上部区段。区段指由防震缝分开的结构单元、平面内使用功能不同的部分、或上下使用功能不同的部分。
- (5)不同行业的相同建筑,当所处位置及地震破坏所产生的后果和影响不同时,其抗震设防类别可不相同。

2. 抗震设防类别

建筑工程应分为以下四个抗震设防类别:

(1)特殊设防类。特殊设防类指使用上有特殊设施,涉及国家公共安全的重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害等特别重大灾害后果,需要进行特殊设防的建筑(简称甲类)。

(2)重点设防类。重点设防类指地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的生命线相关建筑,以及地震时可能导致大量人员伤亡等重大灾害后果,需要提高设防标准的建筑(简称乙类)。

(3)标准设防类。标准设防类指大量的除上述划分依据中第(1)、(2)、(4)条以外按标准要求进行设防的建筑(简称丙类)。

(4)适度设防类。适度设防类指使用上人员稀少且震损不致产生次生灾害,允许在一定条件下适度降低要求的建筑(简称丁类)。

◆建筑抗震设防标准

建筑抗震设防标准是衡量抗震设防要求的尺度,由抗震设防烈度或地震动参数及建筑抗震设防类别确定。其中,抗震设防烈度是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,一般情况下,取 50 年内超越概率 10% 的地震烈度。

各抗震设防类别建筑的抗震设防标准,应符合下列要求:

1. 标准设防类

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

重点设防类应按高于本地区抗震设防烈度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

特殊设防类应按高于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

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。

对于划为重点设防类而规模很小的工业建筑,当改用抗震性能较好的材料且符合《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)(以下简称《建筑抗震规范》)对结构体系的要求时,允许按标准设防类进行设防。

◆建筑抗震设防目标

建筑抗震设防目标是指当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,对不同频率和强度的地震应具有不同的抵抗能力;对一般较小的地震,由于发生的可能性较大,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,由于发生的可能性较小,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,这时若允许有所损坏,但不倒塌,则是经济合理的。

我国《建筑抗震规范》规定,设防烈度为6度及6度以上的地区必须进行抗震设计,并提出三水准抗震设防目标:

第一水准:当建筑物遭受低于本地区设防烈度的多遇地震影响时,一般不受损坏或不需修理可继续使用(小震不坏)。

第二水准:当建筑物遭受相当于本地区设防烈度的地震影响时,可能损坏,但经一般修理或不需修理仍可继续使用(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,不致倒塌或发生危及生命的严重破坏(大震不倒)。

此外,我国《建筑抗震规范》对主要城市和地区的抗震设防烈度、设计基本地震加速度值给出了具体规定,同时指出了相应的设计地震分组,这样划分能更好地体现震级和震中距的影响,使对地震作用的计算更为细致。

◆建筑抗震设防方法

为实现上述“三水准”的抗震设计目标,我国《建筑抗震规范》采用“两阶段”设计方法。

1. 第一阶段设计

第一阶段设计是(小震不坏)按小震作用效应和其他荷载效应的基本组合来验算结构构件的承载能力,以及在小震作用下验算结构的弹性变形。具体而言是在方案布置符合抗震设计原则的前提下,以众值烈度(小震)下的地震作用值作为设防指标,假定结构和构件处于弹性工作状态,计算结构的地震作用效应(内力和变形),验算结构构件的抗震承载力,并采取必要的抗震措施。这样既满足了在第一水准下具有必要的承载力(小震不坏),同时又满足了第二水准的设防要求(中震可修)。另外,对于框架结构和框架-剪力墙结构等较柔性的结构,还要验算众值烈度下的弹性层间位移,以控制其侧向变形在小震作用下不致过大。对大多数的结构,可只进行第一阶段设计,而通过概念设计和抗震构造措施来满足第三水准的设计要求。

2. 第二阶段设计

第二阶段设计是(中震可修)弹塑性变形验算,对特殊要求的建筑和地震时易倒塌的结构,除进行第一阶段设计外,还要按大震作用时进行薄弱部位的弹塑性层间变形验算和采取相应的构造措施,实现第三水准(大震不倒)的设防要求。首先是要根据实际设计截面寻找结构的薄弱层或薄弱部位(层间位移较大的楼层或首先屈服的部位),然后计算和控制其在大震作用下的弹塑性层间位移,并采取提高结构变形能力的构造措施,达到大震不倒的目的。

以上提到的小震、基本烈度、大震之间的大致关系为:小震比基本烈度低1.55度;大震比基本烈度高一度左右。