

建筑结构抗震设计

主编：袁锦根 主审：邹银生
编者：邓荣飞 田 琪 左成平

湖南科学技术出版社

建筑结构抗震设计

主编：袁锦根 主审：邹银生
编者：邓荣飞 田 琪 左成平

湖 南 科 学 技 术 出 版 社

273900

湘新登字 004 号

建筑结构抗震设计

主 编:袁锦根

责任编辑:沙一飞

湖南科学技术出版社发行

(长沙市展览馆路8号)

长沙铁道学院印刷厂印刷

(印装质量问题请直接与本厂联系)

1995年8月第1版第1次印刷

开本:787×1092毫米 1/16 印张:13 字数:304,000

印数:1—2800

ISBN7-5357-1821-1/TU·51

定价:13.00元

目 录

4

第一章 绪 论	(1)
§ 1—1 地震的初步知识.....	(1)
§ 1—2 地震的破坏现象.....	(5)
§ 1—3 抗震设计的基本原则.....	(6)
§ 1—4 抗震设计的基本要求.....	(8)
§ 1—5 场地和地基基础.....	(9)
第二章 结构地震反应分析与抗震验算	(12)
§ 2—1 概 述	(12)
§ 2—2 单自由度弹性体系的地震反应分析	(13)
§ 2—3 单自由度体系水平地震作用——反应谱法	(17)
§ 2—4 多自由度体系的自由振动	(22)
§ 2—5 多自由度体系的地震反应	(27)
§ 2—6 多自由度体系水平地震作用——振型分解反应谱法	(29)
§ 2—7 多自由度体系水平地震作用近似算法——底部剪力法	(32)
§ 2—8 水平地震作用扭转影响的计算	(38)
§ 2—9 竖向地震作用计算	(39)
§ 2—10 地震反应时程分析法的概念	(42)
§ 2—11 地震作用计算的一般规定	(43)
§ 2—12 结构基频的近似算法	(43)
§ 2—13 结构抗震验算	(48)
第三章 多层砌体房屋的抗震设计	(56)
§ 3—1 震害及其分析	(57)
§ 3—2 多层砌体房屋抗震设计的一般要求	(58)
§ 3—3 多层砌体房屋的抗震设计	(61)
§ 3—4 构造措施	(67)
§ 3—5 设计实例	(71)
第四章 单层钢筋混凝土厂房的抗震设计	(77)
§ 4—1 震害及其分析	(77)
§ 4—2 单层钢筋混凝土厂房的抗震设计	(79)
§ 4—3 构造措施.....	(100)
§ 4—4 设计实例.....	(105)
第五章 钢筋混凝土框架及框架——抗震墙房屋的抗震设计	(124)

§ 5—1 震害及其分析..... (124)

§ 5—2 抗震设计一般要求..... (127)

§ 5—3 钢筋混凝土框架及框架——抗震墙结构抗震设计..... (133)

§ 5—4 构造措施..... (147)

§ 5—5 设计实例..... (152)

附录一 地震作用下钢筋混凝土框架的内力近似分析与变形计算..... (178)

附录二 确定框架—抗震墙结构抗震墙刚度的简化计算..... (185)

附录三 框架—抗震墙协同工作体系的近似计算..... (186)

附录四 计算振型、周期程序 (194)

参考文献..... (199)

第一章 绪 论

§ 1·1 地震的初步知识

地震是人类社会面临的一种自然灾害,目前,科学技术还不能控制地震的发生.并且,地震还是一个难以预测的自然灾害,地震对建筑物的破坏作用也没有被人们充分认识,所以,地震往往给人类社会造成不同程度的伤亡事故和经济损失.抗御地震灾害,是人类征服自然的艰巨斗争,长期实践证明了地震并不可怕,完全可以运用现代科学技术,来减轻和防止地震灾害.为了更有效地和地震这种自然灾害进行斗争,在学习建筑物本身动力特性和建筑物的抗震设计之前,必须先扼要地了解关于地震的初步知识。

一、几个常用地震术语

地震的发生主要由于地球的地质构造作用使地壳积累了巨大的变形能,地壳中的岩层产生很大的应力,当这些应力超过某处岩层的强度极限时,岩层突然断裂、错动,从而将积累的变形能转化为波动能传播出去,这样就引起了地面的震动。我们将这种由于地质构造作用引起的地面震动叫做构造地震,简称地震。构造地震是一种影响面广、破坏性大、发生频率高的地震。因此,在建筑结构抗震设计中,仅限于讨论在构造地震作用下建筑的设防问题。

图 1—1 为几个常用地震术语示意图。

在地层构造运动中,由于发生比较剧烈的破坏性变动,并从这里释放大量的能量,从而引起地震的这个区域叫做震源。

震源在地面上的投影就是震中,震中与震源之间的距离叫做震源深度,一般把震源深度小于 60 km 的地震称为浅源地震;60~300 km 的称为中源地震;大于 300 km 的称为深源地震。浅源地震造成的危害最大,我国发生的绝大部分地震都属于浅源地震,例如唐山大地震的断裂岩层深约 11km。

建筑物与震中的距离叫震中距,建筑物与震源的距离叫做震源距,震中附近震动最剧烈的,一般也就是破坏最严重的地区,叫做极震区。

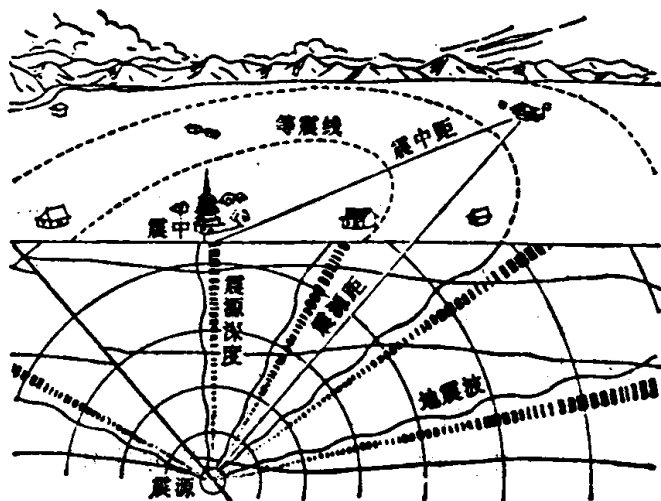


图 1—1 几个常用地震术语示意图

在地面,把震级相同的地区用线连起来,这条线叫等震线。

二、地震波

在地球内部由于构造运动,当在某一部位所积累的能量达到一定限度时就在这个部位产生构造上的急剧变化。由于断裂处的地壳或地幔的物质具有相当的刚性,所以发生断裂或错动时,就以弹性波的形式释放能量,这种波称为地震波。

地震波有二种表现形式:体波和面波,体波包含 P 波和 S 波。P 波通常又称为纵波或压缩波,它的传播方向与本身的振动方向一致。S 波又称为横波或剪切波,它的传播方向垂直于振动方向。

P 波的速度 v_p 和 S 波的速度 v_s 表示为:

$$v_p = \left[\frac{E}{\rho} \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \right]^{1/2} \quad (1-1)$$

$$v_s = \left(\frac{G}{\rho} \right)^{1/2} = \left[\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\nu)} \right]^{1/2} \quad (1-2)$$

式中:

E ——弹性模量;

G ——剪切模量;

ρ ——质量密度;

ν ——泊松比

对于任何介质, $v_p > v_s$ 。如果取土体介质的泊松比为 0.25,那么,从式(1-1)和式(1-2)可得 $v_p = \sqrt{3} v_s$ 。

面波是沿着地表传播的,面波分为二类:L 波(乐甫波)和 R 波(瑞利波)。L 波发生在层状介质中,其振动方向平行于地表面,而且垂直于波传播方向。R 波的振动方向是垂直于地表面,作椭圆运动。它的速度比较小,但接近于 S 波的速度。

P 波使建筑物产生上下颤动,S 波使建筑物产生水平方向摇动,而面波则使建筑物既产生上下颤动又产生水平摇动,一般是在 S 波和面波都到达时振动最为剧烈。过去多认为主要是 S 波使建筑物产生破坏,但在震后的宏观考查中发现,由 P 波所造成的破坏也是不容忽视的。

三、震级

地震的大小与地震时释放的能量有密切关系。里克特(Richter)于 1935 年提出的震级 M 常被用来表示地震的大小,震级的原始定义是:在离震中 100 km 处由伍德-安德生(Wood-Anderson)式标准地震仪所记录到的最大水平位移(单振幅,单位为微米,即 10^{-3}mm)的常用对数值,震级 M 可用下式表示。

$$M = \log A \quad (1-3)$$

式中 A 即是上述标准地震仪在距震中 100 km 处记录到的最大振幅。例如,在距震中 100km 处标准地震仪记录到的最大振幅 $A = 100\text{mm} = 10^5\mu\text{m}$,则 $M = \log A = \log 10^5 = 5$,即这次地震为 5 级。

由于地震发生时地震仪不可能总是放在离震中 100km 的地方,因此,需要根据震中距和使用的仪器对实测的震级进行适当的修正。

表 1—1

中国地震烈度表(1980)

烈度	人的感觉	一般房屋		其它现象	参考物理指标	
		大多数房屋 震害程度	平均震害 指数		加速度 (cm/s ²) (水平向)	速度 (cm/s ²) (水平向)
I	无感					
II	室内个别 静止中的人 感觉					
III	室内少数 静止中的人 感觉	门、窗轻微 作响		悬挂物微动		
IV	室内多数 人感觉。室外 少数人感觉。 少数人梦中 惊醒	门、窗作响		悬挂物明显摇动,器皿作 响		
V	室内普遍 感觉。室外多 数人感觉。多 数人梦中惊 醒	门窗、屋 顶、屋架颤动 作响,灰土掉 落,抹灰出现 微细裂缝		不稳定器物翻倒	31 (22—44)	3 (2—4)
VI	惊慌失措, 仓惶逃出	损坏—— 个别砖瓦掉 落、墙体微细 裂缝	0—0.1	河岸和松软土上出现裂 缝。饱和砂层出现喷砂冒 水。地面上有的砖烟囱轻度 裂缝、掉头	63 (45—89)	6 (5—9)
VII	大多数人 仓惶逃出	轻度破坏 ——局部破 坏、开裂,但 不妨碍使用	0.11—0.30	河岸出现塌方。饱和砂层 常见喷砂冒水。松软土上地 裂缝较多、大多数砖烟囱中 等破坏	125 (90—177)	13 (10—18)
VIII	摇晃颠簸, 行走困难	中等破坏 ——结构受 损,需要修理	0.31—0.50	干硬土上亦有裂缝。大多 数砖烟囱严重破坏	250 (178—353)	25 (19—35)
IX	坐立不稳。 行动的人可 能摔跤	严重破坏 ——墙体龟 裂,局部倒 塌,复修困难	0.51—0.70	干硬土上有许多地方出 现裂缝,基岩上可能出现裂 缝。滑坡、塌方常见。砖烟囱 出现倒塌	500 (354—707)	50 (36—71)
X	骑自行车 的人会摔倒。 处不稳状态 的人会摔出 几尺远。有抛 起感	倒塌—— 大部倒塌,不 堪修复	0.71—0.90	山崩和地震断裂出现。基 岩上的拱桥破坏。大多数砖 烟囱从根部破坏或倒毁	1000 (708—1414)	100 (72—141)
XI		毁灭	0.91—1.00	地震断裂延续很长。山崩 常见。基岩上拱桥毁坏		
				地面剧烈变化,山河改观		

注：① I—V 度以地面上人的感觉为主，VI—X 度以房屋震害为主，人的感觉仅供参考，XI、Ⅻ 度以地面现象为主。XI、Ⅻ 度的评定，需要专门研究。

② 一般房屋包括用木构架和土、石、砖墙构造的旧式房屋和单层 或数层的、未经抗震设计的新式砖房。对于质量特别差 或特别好的房屋，可根据具体情况，对表列各烈度的震害程度和震害指数予以提高或降低。

③ 震害指数以房屋“完好”为 0,“毁灭”为 1,中间按表列震害程度分级。平均震害指数指所有房屋的震害指数的总平均值而言,可以用普查或抽查方法确定之。

④ 使用本表时可根据地区具体情况,作出临时的补充规定。

⑤ 在农村可以自然村为单位,在城镇可以分区进行烈度的评定,但面积以 1 平方公里左右为宜。

⑥ 烟囱指工业或取暖用的锅炉房烟囱。

⑦ 表中数量词说明:个别:10% 以下;少数:10—50%;多数:50—70%;大多数:70—90%;普遍:90% 以上。

对于远震,面波成分通常比体波成分要显著,它们具有不同的阻尼特性,国际上一般远震用面波定震级,近震用体波。我国地震部门为统一起见,规定全用面波定震级上报。

四、地震烈度、基本烈度和地震烈度区划图

1. 地震烈度

地震烈度是指某一地区,地面及房屋建筑等遭受到一次地震影响的强弱程度。对于一次地震,表示地震大小的震级虽只有一个,然而各地区由于距震中远近不同;地质情况和建筑情况不同,所受到的影响不一样,因而烈度不同,一般地说,震中区烈度最大,离震中愈远烈度愈小。

烈度是地震发生时,根据人的感觉,家具和物品的振动情况,以及房屋和构筑物遭受破坏程度等状况而对地震所作的定性描述。所以,可以认为烈度是表示地震影响程度的一个尺度。评定烈度的标准叫烈度表。由于对烈度影响从轻到重的分段不同,以及在宏观现象的描绘和定量指标确定方面的差异,加之各国建筑物情况和地表条件都有不同,各国所编制的烈度表也不尽相同。国际上普遍采用的是划分为 12 度的烈度表,也有一些国家沿用划分为 10 度(如欧洲一些国家)或 8 度的(如日本)烈度表。目前,我国使用的是 12 度烈度表(如表 1—1)。在这个烈度表中给出了房屋和结构物在各种烈度下被破坏的情况。

2. 基本烈度和地震烈度区划图

一个地区的基本烈度是指该地区在设计基准期 50 年内,一般场地条件下,可能遭遇超越概率为 10% 的地震烈度(见图 1—2),各个地区的基本烈度是根据当地的地质地形条件和历史地震情况等,采用了地震危险性概率方法,由有关部门确定。作为一个地区抗震设防依据的地震烈度,一般情况下取基本烈度。

国家地震局于 1990 年颁布了《中国地震烈度区划图》,该图给出了全国各地的基本烈度的分布,供全国建筑规划和中小型工程设计应用。

五、小震与大震,近震与远震

1. 小震与大震

从概率意义上,小震应是发生机会较多的地震,因此,可将小震定义为烈度概率密度分布曲线上的峰值所对应的烈度(多遇烈度或称众值烈度)。根据大量数据分析,我国地震烈度的概率分布符合极值 III 型(图 1—2 所示)。从图 1—2 中概率密度分布曲线可看出多遇烈度,在设计基准期 50 年内超越概率为 63.2%,基本烈度的超越概率为 10%,罕遇烈度(即大震),超越概率为 2% 左右,基本烈度与多遇烈度相差约为 1.55 度,而基本烈度与罕遇烈度相差为 1 度。例如,当基本烈度为 8 度,其多遇烈度为 6.45 度,罕遇烈度为 9 度(图 1—2 所示),多遇烈度,即小震烈度,我们称为第一水准烈度;基本烈度即全国地震烈度区划图所规定的烈度称为第二水准烈度;罕遇烈度,即大震烈度作为第三水准烈度。

2. 近震与远震

在抗震设防烈度相同的情况下，一个地区所受的地震影响按震中距远近不同而划分为设计近震和设计远震。简称近震和远震，《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89)(以下简称《规范》)规定：

近震 当建筑物所在地区遭受的地震影响来自本设防烈度区或比该地区设防烈度大一度地区的地震。

远震 当建筑物所在地区遭受的地震影响可能来自设防烈度比该地区设防烈度大二度或二度以上地区的地震。

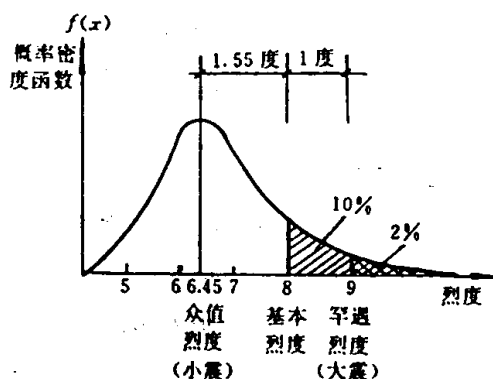


图 1—2 三种烈度关系示意图

§ 1.2 地震的破坏现象

地震造成的破坏可归纳为以下三方面。

一、地表破坏

强烈地震发生后，常常在地震区看到地裂缝、冒水喷砂以及滑坡、崩塌、沉陷等地表震害现象。

按地面裂缝形成的原因可以分二类：一类是因为地下岩层断裂或断层错动，在地表形成的裂缝。这类裂缝与地下断裂带的走向一致，一般规模较大，形状规则，常成带状裂缝，带宽几至几十米，带长可达几千米，但一般都不深，多则 1～2 米而已。唐山地震时，穿过唐山市区东南部的地震缝就属于这种类型。另一类是处于古河道，河湖堤岸，坡道和田地场院等土质松软潮湿的地段，在地震时由于震陷而形成的地裂缝。这类裂缝规模小，形状不一，纵横交错。

地震缝穿过房屋、公路、地下构筑物时，会造成墙和基础的断裂或错动，严重时会造成房屋倒塌(图 1—3)，一般情况在选择建筑场地时，应充分考虑这一不利因素，尽量避开这些不利的影响。

冒水喷砂是由于地震波强烈的振动，在地下水位较高，砂层埋藏较浅的地区，使含水层受到挤压，地下水往往从地裂缝或土质松软的地方冒出。而在含有砂层的地方，地下水则夹带砂子喷出。冒水喷砂常导致地面下陷，农田道路被淹没，机井毁坏，建筑物下沉，倾斜等危害。

二、建筑结构破坏

地震时，不仅各类建筑物遭到不同程度的破坏，也使人民生命财产受到损失。根据历次大地震的宏观调查可以把造成各类工程结构破坏的原因归纳为三个方面。

1. 主要承重结构的承载力不够

任何承重构件都有它的特定功能，适于承受一定的外力。对于设计时没有考虑地震影响或设防不足的结构，在地震作用下，不仅构件所承受的内力突然加大多倍，而且往往还要改变其

受力方式,致使构件因承载力不足而破坏,例如承重砖墙,当地震作用使其主应力超过砌体抗主拉应力强度时,墙面就产生交叉裂缝,钢筋混凝土柱被剪断、压酥等。

2. 结构整体性丧失

房屋建筑或其他构筑物,都是由许多不同的构件所组成,其结构的整体性好坏,是能否保证房屋在地震作用下不至发生倒塌的关键。在强烈地震作用下,构件连接不牢,支承长度不够和支撑失效等都会使结构丧失整体性而破坏。

3. 地基失效

在地震的强烈作用下,地基承载力下降,甚至丧失。也可能由于地基饱和砂层液化造成建筑物沉陷,倾倒或破坏(图 1—4)。

三、地震次生灾害

所谓地震次生灾害是指地震时间接产生的灾害。如火灾、水灾、污染、瘟疫、海啸等灾害。这种由地震引起的次生灾害,有时比地震直接造成的损失还大,因此,这个问题在城市,尤其大城市愈来愈引起人们的关注。

例如,1923 年日本关东大地震,据统计震倒房屋 13 万栋,由于地震时正值午饭时刻,许多地方同时起火,加之道路堵塞、自来水管遍遭破坏,人们救火工作受到限制,致使大火蔓延,烧毁房屋达 45 万栋之多。1960 年发生于智利的大地震,引起海啸灾害,除吞噬了智利中南部沿海的房屋外,海浪又从智利沿海以 60km/h 的速度横扫太平洋,22 小时后,4m 高的海浪又袭击了距智利达 1700km 远的日本,在本州和北海道,使海港设备和码头建筑遭到严重破坏。甚至连巨轮也被抛上陆地。

§ 1·3 抗震设计的基本原则

一、建筑物的分类及抗震设防标准

根据建筑物的重要性,《规范》将建筑分为四类:

甲类建筑 —— 特别重要的建筑,如遇地震破坏会导致严重后果(如产生放射性物质的污染,大爆炸等)的建筑等,必须经国家规定的批准权限批准。

乙类建筑 —— 国家重点抗震城市生命线工程的建筑(如消防、急救、供水、供电等)。

丙类建筑 —— 甲、乙、丁类以外的建筑。

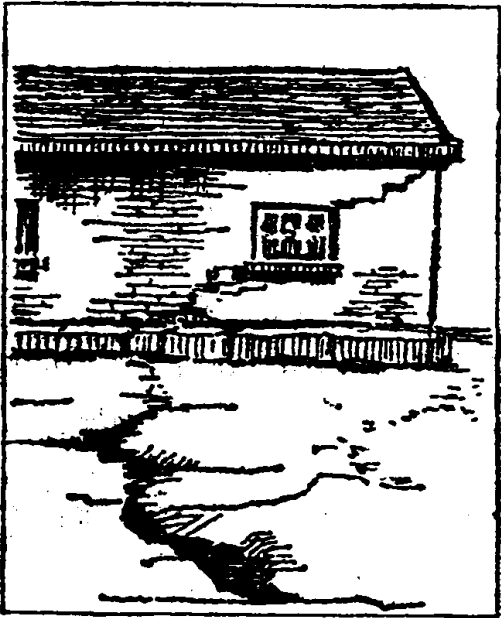


图 1—3 断层错动引起的地面破坏

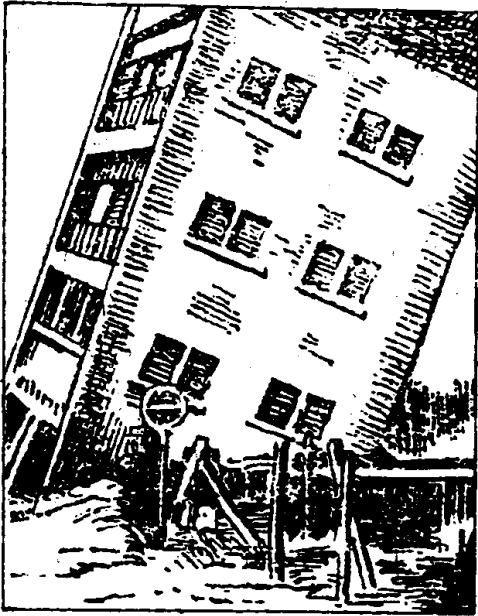


图 1—4 土液化造成的震害

丁类建筑——次要的建筑,如遇地震破坏不易造成人员伤亡和较大经济损失的建筑等。

规范规定,对各类建筑地震作用计算,应按下列要求考虑:

甲类建筑,按专门研究的地震动参数考虑,其余各类建筑按本地区的设防烈度考虑,但设防烈度为6度时,除本规范有具体规定外,可不进行地震作用计算。

对各类建筑的抗震措施应按下列要求考虑:甲类建筑应采取特殊的抗震措施。乙类建筑除本规范有具体规定外,可按本地区设防烈度提高一度采取抗震措施,但设防烈度为9度时可适当提高。丙类建筑应按本地区设防烈度采取抗震措施,但设防烈度为6度时可不降低。

二、抗震设防的一般目标

抗震设防是指对房屋进行抗震设计和采取抗震构造措施,达到抗震的效果,抗震设防的依据是抗震设防烈度。

抗震设防烈度是一个地区作为抗震设防依据的地震烈度,它是按国家规定权限审批或颁发的文件(图件)确定的,一般情况下采用基本烈度。

抗震设防的一般目标是:

(1) 当遭到多遇的,低于本地区设防烈度的地震影响时,建筑物一般不受损坏或不需修理仍可继续使用。

(2) 当遭受本地区设防烈度的地震影响时,建筑物可能有一定损坏,经一般修理或不需修理仍可继续使用。

(3) 当遭受到高于预估的本地区设防烈度的罕遇地震影响时,建筑物不致倒塌或发生危及人类生命的严重破坏。

抗震设计的指导思想是: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。一般小震发生的概率较大,因此要求做到结构不损坏,这在技术上、经济上是可以做到的。而大震发生的概率较小,如果要求结构遭受大震时不损坏,这在经济上是不合理的,因此可以允许结构破坏。但是在任何情况下,不应导致建筑物倒塌,概括起来说,抗震设防的一般目标就是要做到“小震不坏,设防烈度可修,大震不倒。”

在进行建筑抗震设计时,原则上应满足三水准抗震设防目标的要求,在具体做法上,为了简化计算起见,《规范》采用了二阶段设计法,即:

第一阶段设计:按小震作用效应和其他荷载效应的基本组合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,以满足第一水准抗震设防目标的要求。

第二阶段设计:在大震作用下验算结构的弹塑性变形,以满足第三水准抗震设防目标要求。

第二水准抗震设防目标的要求,《规范》是以在满足第一、三水准抗震设防目标的基础上通过抗震构造措施来加以保证的。

§ 1·4 抗震设计的基本要求

一、建筑场地

(1) 宜选择对建筑抗震有利地段,如开阔平坦的坚硬场地土或密实均匀的中硬场地土等地段;

(2) 宜避开对建筑抗震不利地段,如软弱场地土,易液化土,条状突出的山嘴,高耸孤立的山丘,非岩质的陡坡,采空区,河岸和边坡边缘,场地土在平面分布上的成因,岩性、状态明显不均匀(如故河道,断层破碎带、暗埋的塘滨沟谷及半填半挖地基等)等地段。当无法避开时,应采取适当的抗震措施;

(3) 不应在危险地段建造甲、乙、丙建筑。对建筑抗震危险地段,一般是指地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等地段以及基本烈度 8 度和 8 度以上的发震断裂带上地震时可能发生地表错位地段。

二、地基和基础设计

(1) 同一结构单元不宜设置在性质截然不同的地基上,也不宜部分采用天然地基,部分采用桩基。

(2) 地基有软弱粘性土,可液化土,严重不均匀土层时,宜加强基础的整体性和刚性。

三、建筑的平面、立面布置

建筑物的平、立面布置宜规则、对称,质量和刚度变化均匀,避免楼层错层。

对体型复杂的建筑物应采取:① 不设抗震缝,但应对建筑物进行结构抗震分析,估计其局部应力和变形集中及扭转影响,判明其易损部位,采取加强措施或提高变形能力的措施;② 设置抗震缝,将建筑物分隔成规则的结构单元。

四、抗震结构体系

(1) 应具有明确的计算简图和合理的地震作用传递途径。

(2) 宜有多道抗震设防,避免因部分结构或构件失效而导致整个体系丧失抗震能力或丧失对重力的承载能力。

(3) 应具备必要的承载力,良好变形能力和耗能能力。

(4) 宜综合考虑结构体系的实际刚度和承载力分布,避免因局部削弱或突变而形成薄弱部位,产生过大的应力集中或塑性变形集中,对可能出现的薄弱部位,宜采取措施改善其变形能力。

五、结构构件

抗震结构构件应力求避免脆性破坏。对砌体结构宜采用钢筋混凝土圈梁和构造柱、芯柱、配筋砌体或钢筋混凝土和砌体组合柱。对钢筋混凝土构件,应通过合理的截面选择及合理的配筋避免剪切先于弯曲破坏,避免混凝土的受压破坏先于钢筋的屈服,避免钢筋锚固先于构件破

坏,钢结构杆体应防止压屈破坏(杆件失去稳定)或局部失稳。

加强结构各构件之间的连接,以保证结构的整体性。

对抗震支撑系统应能保证地震时的结构稳定。

六、非结构构件

对非结构构件,如女儿墙、围护墙、雨篷、门脸、封墙等,应注意其与主体结构有可靠的连接和锚固,避免地震时倒塌伤人。对围护墙和隔墙与主体结构的连接,应避免其不合理的设置而导致主体结构的破坏。应避免吊顶在地震时塌落伤人。应避免贴镶或悬吊较重的装饰物,或采用可靠的防护措施。

七、材料、施工质量

抗震结构对材料、施工质量的要求应在设计文件上注明,并应保证切实执行。对各类材料的强度等级应符合最低要求。对钢筋接头及焊接质量应满足规范要求。对构造柱、芯柱及框架的施工、对砌体房屋纵墙及横墙的交接等应保证施工质量。

§ 1 · 5 场地和地基基础

目前世界各国建筑抗震设计规范大都采用反应谱理论,并重视场地条件的影响。由于实际场地千变万化,地震时不同场地上的震害差异也较大且复杂。历次震害现象表明,在某一相邻地区内,房屋的建筑物和施工质量都基本相同,但地震破坏程度却差别较大,破坏烈度可相差1—2度之多,出现所谓“重灾区里有轻灾,轻灾区里有重灾”的烈度异常区。为什么会出现这种现象呢?经震害调查分析表明,这是局部地质条件对工程影响的结果,因此,研究场地条件对建筑物震害的影响是建筑结构抗震设计中一个重要课题。

场地是指建筑物所在地,大体相当于厂区,居民区和自然村的区域范围。场地土是指场地范围的地基土,场地土的自振周期称为场地土的卓越周期。由于场地土的性质和厚度不同,其卓越周期的长短也不同,一般在0.1秒至数秒内变化。震害调查表明,凡结构的自振周期与土的卓越周期相等或接近时,建筑物的震害都有加重的趋势,这是由于类似共振现象所致,因此,在结构抗震设计中,应使结构自振周期避开土的卓越周期。

层状地基由覆盖层厚度不等且坚硬与软弱程度不同的土层构成。宏观震害表明,软弱地基上柔性结构较易遭受破坏而刚性结构则表现较好,坚硬地基上柔性结构震害较轻而刚性结构有时破坏加重。就地面建筑总的破坏现象来说,在软弱地基上的比坚硬地基上的要严重。房屋破坏率随场地覆盖层厚度增加而升高,覆盖层厚度超出一定范围后破坏率变化不大。

震害表明,地震时由于场
地土的类型不同及覆盖层厚度
不同,对建筑物的地震作用产生
不同影响。因此,《规范》在
进行建筑场地类别的划分时,
不但考虑场地土类型,而且考
虑覆盖层厚度的影响。场地土

表 1—2 场地土类型划分

场地土类型	土层剪切波速(m/s)
坚硬场地土	$V_s > 500$
中硬场地土	$250 < V_{sm} \leq 500$
中软场地土	$140 < V_{sm} \leq 250$
软弱场地土	$V_{sm} \leq 140$

类型宜根据土层剪切波速来划分。

《规范》将场地覆盖层厚度(地面以下 15m 且不深于场地覆盖层厚度)范围内的各土层剪切波速 V_s 按厚度的加权平均值 V_{sm} 作为分类依据而将场地划分为 4 类。使用时先根据表 1—2 确定场地土类型(当丙、丁类建筑无实测剪切波速时可根据表 1—3 按各土层性状、地基土静承载力标准值 f_k (kPa) 确定土类型,当为多层土时以地面以下 15m 且不深于场地覆盖层厚度范围内各土层综合评定确定场地土类型)。然后按场地覆盖层厚度和场地土类型根据表 1—4 得出建筑场地的类别。

表 1—3 土类型划分

土的类型	岩土名称和性状
坚硬土	稳定岩石,密实的碎石土
中硬土	中密、稍密的碎石土,密实、中密的砾、粗、中砂, $f_k > 200$ 的粘性土和粉土
中软土	稍密的砾、粗、中砂,除松散外的细、粉砂, $f_k \leq 200$ 的粘性土和粉土, $f_k \geq 130$ 的填土
软弱土	淤泥和淤泥质土,松散的砂、新近沉积的粘性土和粉土, $f_k < 130$ 的填土

注: f_k 为地基土静承载力标准值(kPa)

表 1—4 建筑场地类别划分

场地土类型	场地覆盖层厚度 d_{ov} (m)				
	0	$0 < d_{ov} \leq 3$	$3 < d_{ov} \leq 9$	$9 < d_{ov} \leq 80$	$d_{ov} > 80$
坚硬场地土	I				
中硬场地土		I	I	I	I
中软场地土		I	I	I	II
软弱场地土		I	I	II	IV

场地覆盖层厚度是按地面到剪切波速大于 500m/s 的土层或坚硬土顶面的距离确定的。

当不得不选择可能液化导致地基失效的地段为建筑场地时,应采取必要措施,包括初步判别液化可能性;进一步判别液化土层深度和厚度;确定地基抗液化措施和加强上部结构等。

需要进行天然地基在地震作用下竖向承载力验算时,应控制基础底面与地基土间零应力面积不应超过基础底面面积的 25%,基础底面平均压力和边缘最大压力应符合下列各式要求。

$$p \leq f_{SB} \tag{1-3}$$

$$p_{max} \leq 1.2f_{SB} \tag{1-4}$$

式中

- p —— 基础底面地震组合的平均压力设计值,
- p_{max} —— 基础边缘地震组合的最大压力设计值。

考虑到地基土在有限次循环动力作用下的承载力一般较静力作用下的承载力为高,调整后的地基土抗震承载力设计值 f_{SB} 为

$$f_{SB} = \zeta_s f_s \tag{1-5}$$

式中

ζ_s ——地基土抗震承载力调整系数,按表 1—5 采用。

地基土抗震承载力调整系数

岩土名称和性状	ζ_s
岩石,密实的碎石土,密实的砾、粗、中砂, $f_k \geq 300$ 的粘性土和粉土	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, $150 \leq f_k < 300$ 的粘性土和粉土	1.3
稍密的细、粉砂, $100 \leq f_k < 150$ 的粘性土和粉土,新沉积粘性土、粉土	1.1
淤泥,淤泥质土,松散的砂,填土	1.0

第二章 结构地震反应分析与抗震验算

§ 2·1 概 述

地震时由于地面的运动,使地面上原来处于静止的建筑物受到动力作用而产生强迫振动,因而在结构中产生内力、变形和位移,简称为结构的地震反应,可以用结构动力学来进行分析。

结构的地震反应是一种动力反应,反应的大小不仅与外来干扰作用的大小及其随时间的变化规律有关,而且还取决于结构本身的动力特性,即结构的自振周期和阻尼。由于地震时地面运动为一种随机过程,运动极不规则,而建筑结构为各种构件组成的空间体系,其动力特性十分复杂,故结构由地震引起的振动是一种很复杂的空间振动,在进行分析时,常须作出一系列简化的假定。

目前在工程上求解结构地震反应的方法大致可以分为二类:一类为等效荷载法,即将地震对结构物的作用,用等效的荷载来表示,然后根据这一荷载用静力分析方法对结构进行内力计

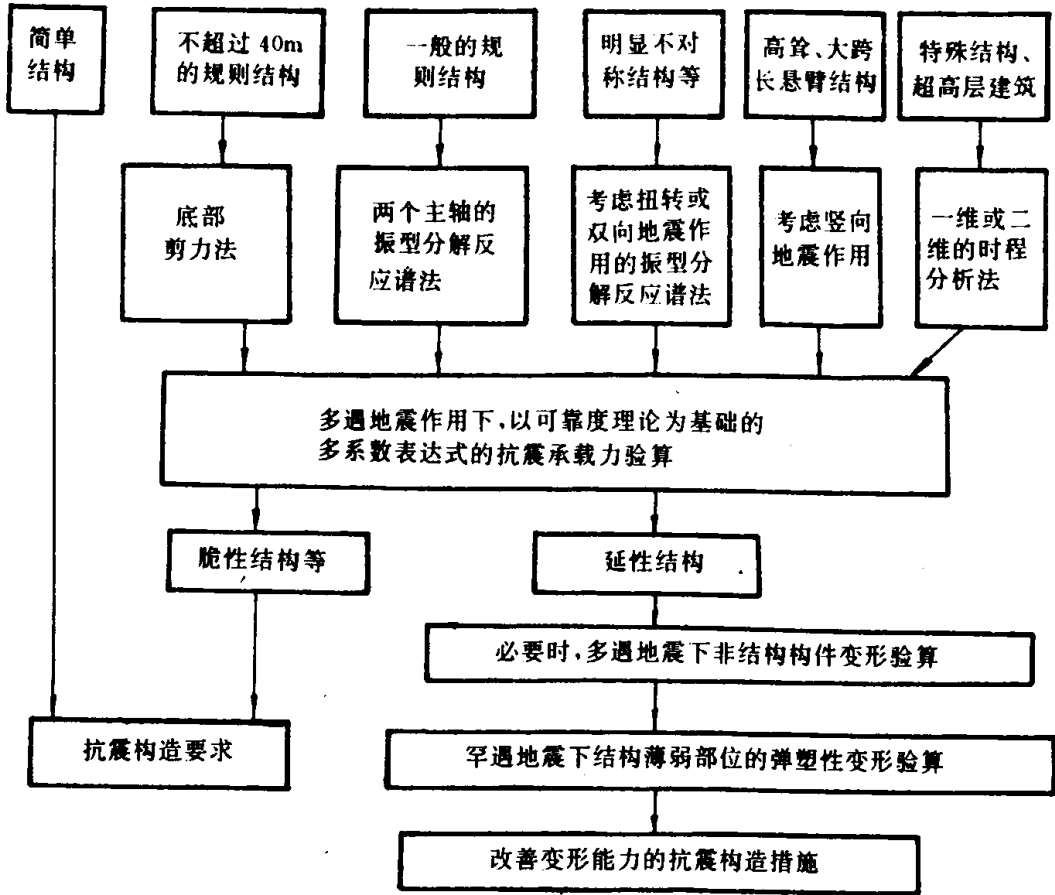


图 2—1