

建筑结构基本知识丛书

房屋结构抗震设计

北京市建筑工程学校
抗震学习班

中国建筑工业出版社



建筑结构基本知识丛书

房屋结构抗震设计

北京市建筑工程学校抗震学习班

中国建筑工业出版社

本书是建筑结构基本知识丛书之一，主要介绍砖砌房屋和单层工业厂房的抗震计算方法。书中首先介绍房屋抗震设计的基本原则，以及有关抗震设计的动力计算基本知识，然后分别叙述多层砖房、钢筋混凝土内框架房屋、空旷砖房，以及单层钢筋混凝土柱工业厂房的抗震计算方法，还简要地介绍了各类房屋的加固措施。

这套《建筑结构基本知识丛书》包括建筑力学、建筑结构和构件计算等方面的基本知识，按专题分册出版，每册力求重点突出，并有一定的独立性，以便读者根据需要选读。

本书可供具有初中以上文化水平的基本建设战线职工和上山下乡知识青年自学建筑结构知识参考。

建筑结构基本知识丛书
房屋结构抗震设计
北京市建筑工程学校抗震学习班

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米1/32 印张：6 5/8 字数：148千字
1977年10月第一版 1977年10月第一次印刷
印数：1—72,780册 定价：0.43元
统一书号：15040·3401

目 录

第一章	概论	1
1-1	房屋抗震设防	2
1-2	抗震设计的基本原则	5
1-3	荷载组合和强度验算原则	9
第二章	场地和地基	10
2-1	建筑场地的选择	10
2-2	地基	12
2-3	地震区房屋地基与基础设计中须注意的几个问题	18
第三章	振动的基本知识	20
3-1	动力学的基本定律	20
3-2	惯性力、动静法	21
3-3	振动的基本概念	23
3-4	一个自由度体系的无阻尼自由振动	25
3-5	阻力对振动的影响——阻尼振动	34
3-6	强迫振动	36
3-7	振型的概念	38
3-8	用近似法计算多自由度体系的基本周期	39
第四章	地震荷载	49
4-1	单质点弹性体系水平地震荷载的计算	50
4-2	实际结构地震荷载的计算	57
4-3	竖向地震荷载的确定	65
4-4	地震对房屋的扭转作用	66
4-5	突出屋顶的建筑物的地震荷载	67

第五章	多层砖房的抗震设计	68
5-1	震害概况	68
5-2	抗震计算	72
5-3	最小面积率法	85
5-4	抗震构造措施	91
第六章	钢筋混凝土内框架房屋	103
6-1	震害及其分析	104
6-2	抗震强度的验算	106
6-3	抗震构造措施	119
第七章	空旷砖房和单层砖柱(墙)厂房	122
7-1	震害及其分析	123
7-2	抗震计算	125
7-3	抗震构造措施	135
第八章	单层钢筋混凝土厂房	138
8-1	震害及其分析	138
8-2	抗震计算	142
8-3	抗震构造措施	167
第九章	建筑的抗震鉴定和加固	175
9-1	房屋抗震加固的原则	175
9-2	房屋地基和基础的抗震鉴定与加固	176
9-3	多层砖房和多层钢筋混凝土内框架房屋	178
9-4	空旷房屋	186
9-5	单层厂房	188
9-6	烟囱和水塔	191
附录 I	地震烈度表	195
附录 II	抗震墙最小面积率 $\left[\frac{A}{F} \right]_{\min}$ 值表	202

第一章 概 论

地震是一种自然现象，强烈的地震常会造成人的生命和财产的严重损失。

我国地处环太平洋地震带和喜马拉雅—地中海地震带之间，是一个多地震的国家，仅历史记载的较大地震就有4000多次。除个别省份外，绝大多数省份都发生过6级以上的地震。因此，必须对地震做好预防工作。

“人类的历史，就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史。”我国劳动人民在同自然界作斗争的长期过程中，逐渐认识到地震的一些规律，并积累了丰富的房屋抗震经验。远在一千八百多年以前，我国就制造出世界上第一台地震仪。

解放后，在伟大的领袖和导师毛主席和中国共产党的英明领导下，地震这门学科有了迅速的发展，广大地震工作者和群测群防队伍相结合，无论在地震的预测预报，以及在抗震实践和抗震设计理论方面都取得了可喜的成绩，并在认真总结建国以来多次强烈地震的经验和有关科研成果的基础上，制订出我国自己的一些建筑抗震设计规范和鉴定标准。

本书即按国家基本建设委员会1974年12月1日批准颁布试行的《工业与民用建筑抗震设计规范》^①（TJ11-74）编写的。

① 以下简称“抗震设计规范”。

要认识和掌握地震发生、发展的规律，做好积极的抗震防震工作，还需要做很大的努力。但是只要我们认真贯彻毛主席的革命路线，贯彻“在党的一元化领导下，以预防为主，专群结合，土洋结合，依靠广大群众，做好预测预防工作”的方针，总结成功的和失败的经验，就一定会有所发现，有所发明，有所创造，有所前进，把我国的地震科学和建筑抗震技术提高到一个新的水平，为社会主义革命和建设作出更大的贡献。

在贯彻地震工作以预防为主方针时，认真搞好房屋的抗震防震是一项重要的工作。本书主要介绍有关房屋结构的抗震计算和构造以及鉴定加固方面的基本知识。

1-1 房屋抗震设防

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

1. 烈度

地震烈度就是地面及房屋建筑物遭受地震破坏的程度。

地震发生时，各地受到的影响不一样，因而烈度不同。一般地说，震中区烈度最大，离震中越远则烈度越小。震中的烈度称为“震中烈度”，在一般震源深度（约15~20公里）情况下，震级与震中烈度的关系大致如表1-1所示。例如，1975年2月4日营口—海城地震，震级 $M=7.3$ ，震中烈度 $I=9$ 度；1976年7月28日唐山—丰南地震，震级 $M=7.8$ ，震中烈度为 $I=10\sim11$ 度。

① M ——震级的符号。

② I ——烈度的符号。

震级和震中烈度大致对应关系

表 1-1

震级 M (级)	2	3	4	5	6	7	8	8 以上
震中烈度 I (度)	1 ~ 2	3	4 ~ 5	6 ~ 7	7 ~ 8	9 ~ 10	11	12

烈度是根据人的感觉、家具和物品的震动情况、房屋和构筑物遭受破坏情况等定性的描绘。目前我国使用的是十二度烈度表，在这个烈度表中，对于房屋和结构物在各种烈度下的破坏情况详见附录 I。

2. 基本烈度和设计烈度

基本烈度是指某一地区，在今后一定的时间内和一般的场地条件下，可能普遍遭遇到的最大地震烈度值。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，由有关部门确定的。

设计烈度是建筑物抗震设计中实际采用的地震烈度。

设计烈度系根据建筑物的重要性，在基本烈度的基础上按区别对待的原则进行调整确定的。

对于特别重要的建筑物，经国家批准，设计烈度可按基本烈度提高一度采用。所谓特别重要的建筑物，是指具有重大政治经济意义和文化价值的以及次生灾害特别严重的少数建筑物，这些建筑物必须保证具有特殊的安全度。

对于重要的建筑物，设计烈度应按基本烈度采用。所谓重要建筑物是指在使用上、生产上、政治经济上具有较大影响的，以及地震时容易产生次生灾害的，或一旦破坏后修复较困难的建筑物。例如，医院、消防、供水、供电等建筑物，地震发生时要保证救灾和人民生活的需要；电讯、交通

等建筑物则除上述原因外，还涉及国内国际影响，地震时不能中断使用；另外，重要企业中的主要生产厂房、极重要的物资贮备仓库、重要的公共建筑、高层建筑、住宅、旅馆等，都属于重要的建筑物。

对于一般建筑物，设计烈度可比基本烈度降低 1 度采用。这是属于较大量的一般工业与民用建筑物。为了避免有些建筑物在设计烈度降低后地震时会有较大的破坏，甚至在高烈度时有倒塌的危险，它的抗震构造措施仍可按基本烈度考虑，以保证房屋的基本抗震要求。此外，为了保证属于大量的 7 度地区的建筑物都具有一定的抗震能力，当基本烈度为 7 度时设计烈度不降低。

对于临时性建筑物，可不考虑设防。

3. 房屋的抗震设防标准

建筑物设防就是要保障人民生命财产的安全。抗震设计必须贯彻执行鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义的总路线，坚持勤俭建国的方针，尽量用较少的钱办较多的事，把房屋建筑得符合抗震的要求。经验表明，如果要求建筑物经强烈地震后完整无损，不仅要大大增加设防投资，甚至在技术上也存在一定的困难，而且考虑到强烈地震不是经常发生的。因此，抗震设计规范规定，工业与民用建筑物经抗震设防后，在遭遇的地震烈度相当于设计烈度时，建筑物的损坏不致使人民生命和重要生产设备遭受危害，建筑物不需修理或经一般修理仍可继续使用。这就是房屋的抗震设防标准。概括地说，就是，“小震裂而不坏，大震坏而不倒”。

与此同时，考虑到 6 度以下（包括 6 度）地区，地震对建筑物的损坏影响较小，根据我国的具体情况，以设计烈度

7 度为设防起点，即小于 7 度时不设防。在 9 度以上的地区，地震过于强烈，纵使采取重大措施和花费很大的投资，但就目前的材料和技术条件所限，也难确保安全。因此，一般应避免在设计烈度高于 9 度的地区进行工程建设。

抗震设计规范规定的设防重点，只放在 7 度、8 度和 9 度地震范围内。

应该说明，所谓设防标准，不应只考虑房屋经受一次设计烈度大小的实际地震，还应考虑余震的影响和连续地震的可能性，以及在这种情况下由于震害积累所造成的更大损害。

1-2 抗震设计的基本原则

1. 选择对抗震有利的场地和地基

建筑物的抗震能力与场地条件有密切关系。历次地震调查表明，同类型的建筑物，由于建造场地不同，破坏程度会有很大差别。

首先，应避免在地质上有断层通过或断层交汇的地带，特别是有活动断层的地段进行建设。

从地形地貌看，宜选择地势平坦开阔的地方作为建筑场地。凡陡坡、深沟、峡谷地带、孤立的山丘等都不宜建造房屋。

从房屋地基条件考虑，岩石、半岩石和密实的地基土对房屋抗震最有利，是最好的建筑场地，而软弱粘性土、松软的人工填土，以及旧池塘、故河道、河滩、地基土软硬不均匀的地段，特别是易于发生砂土液化的地区，都对房屋的抗震不利，不宜在这些地方修造建筑物（图 1-1）。



图 1-1 建筑在故河道上的房屋，地震后因地基滑移造成上部建筑物的开裂

2. 合理规划，避免地震时发生次生灾害

非地震直接造成的灾害称为次生灾害。有时，次生灾害会比地震直接产生的灾害所造成的社会损失更大。避免地震时发生次生灾害，是抗震工作的一个很重要方面。

在建筑规划上应使房屋不要建得太密，为人口疏散和抗震临时建筑留有余地，房屋的间距以不小于1~1.5倍房屋的高度为宜。要避免房高巷小，地震时由于房屋倒塌将通路堵塞，公共建筑物更应考虑防震的疏散问题，一般可与防火疏散同时考虑（图 1-2）。

烟囱、水塔等高耸构筑物，应与居住房屋（包括锅炉房等）保持一定的安全距离，例如不小于构筑物高度的 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{4}$ 。

应该特别注意使易于酿成火灾、爆炸和气体中毒等次生灾害的工业建筑物远离人口稠密区，以防地震时发生爆炸、火灾等事故而造成更大的灾难。

3. 选择技术上、经济上合理的抗震结构方案

选择有利于抗震的建筑平面，是抗震设计的重要环节。矩形、方形、圆形的平面，因形状规整，地震时能整体协调一致，并可使结构处理简化，有较好的抗震效果。II形、L形、V形的平面，因形状凸出凹进，地震时转角处应力集中，易于破坏，必须从结构布置和构造上加以处理。



图 1-2 街巷过窄，地震后由于房屋倒塌将通道堵塞，影响人员疏散

立面上各部分参差不齐，有局部凸出，或质量悬殊、刚度突变的，地震时容易发生局部严重损坏。

建筑物的重量和刚度，应力求对称和均匀分布，以减少地震时可能因受扭破坏。

4. 保证结构整体性，并使结构和联结部分具有较好的延性

整体性好坏是建筑物抗震能力高低的关键。整体性好的房屋，空间刚度大，地震时，各构件之间变形协调，各部分之间互相连接，形成一个总体，有利于抗震。

整体性好的结构，除构件本身具有足够的强度和刚度外，构件之间还要有可靠的联结。构件的联结除必须保证强度外，还要求超过弹性变形后，能保持相当的继续变形的能力——“延性”。结构的“延性”对结构吸收地震力的能量，减小作用在结构上的地震力具有重要的意义。

5. 不做或少做地震时容易倒塌脱落的建筑附属物

房屋附属物，如高门脸、女儿墙、挑檐及其它装饰物等，在不大的地震作用下，例如6度左右，就有破坏（图1-3）。

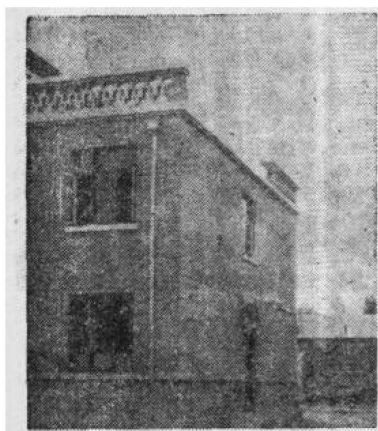


图 1-3 地震时房屋的女儿墙被震落

一般房屋应尽量减少或不做这类装饰性的附属物。如必须建造时，应采取防震的构造措施，对于门楼、洞口等人、车经过的地方，更应加强。

6. 减轻建筑物自重，降低它的重心位置

建筑物所受地震荷载的大小和它的重量成正比。减轻建筑物重量是减少地震荷载最有效的途径，也是最经济的措施。

要减轻建筑物的自重，就要求在满足抗震强度情况下，尽量采用轻质材料来建造主体结构和围护结构。

在设计和使用时，应使房屋的重心尽量降低，以减小地震时房屋所承受的地震弯矩。这是一种具有实际意义的抗震措施。在房屋的使用安排上，如利用顶层当仓库或在顶层布置较重的设备等，使房屋搞得头重脚轻，是对房屋抗震很不

利的。

7. 保证施工质量

施工质量的好坏，直接影响房屋的抗震能力。设计中一方面要对材质、标号、临时加固措施、施工程序等提出要求；另一方面，也要从设计上为使施工中能保证质量和便于检查创造条件，以确保施工质量。

1-3 荷载组合和强度验算原则

在地震荷载作用下，对结构进行强度验算时，楼面活荷载、雪荷载等应根据它与地震荷载遇合的可能性，作适当的调整。因此，抗震设计规范规定，地震荷载应与下列荷载共同组合：

恒载：取全部；

雪荷载：取50%；

楼面活荷载：按等效均布荷载考虑时取50~70%，按实际情况考虑时取全部，而不再考虑现行
《工业与民用建筑结构荷载规范》中楼面活荷载的折减。

考虑到地震荷载是一种偶然发生的特殊荷载，在验算结构抗震强度时，对安全系数或容许应力可作如下调整：如采用安全系数方法，安全系数应取不考虑地震荷载时数值的80%，但不应小于1.1；如采用容许应力方法，容许应力应取不考虑地震荷载时数值的125%。

当只验算竖向地震荷载作用下结构的抗震强度时，安全系数或容许应力应按不考虑地震荷载时的数值采用。

第二章 场地和地基

2-1 建筑场地的选择

在地震区常常会发现，在某一小范围内（例如某个村或某个区）房屋的平立面、结构形式和建筑质量等都基本相同，但地震破坏程度却有很大差别，破坏的烈度有的相差1~2度。从而，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？经调查分析知道，这与建筑场地的土质情况有很大关系。因此，正确的选择建筑场地是房屋抗震设计中一个十分重要的问题。

要正确地选择建筑场地，就需要了解场地土的分类和工程的性质。根据抗震设计规范的规定，场地土分以下三类：

I类场地土——包括微风化和中等风化的基岩。建筑在I类场地土上的建筑物在强烈地震后，一般很少因地基发生问题而使上部结构破坏。I类场地土是地震区建筑的良好地基。

II类场地土——除I类场地土和下面要介绍的III类场地土外的一般稳定土。如密实和中密的碎石土、砂土、坚硬的粘性土等。关于碎石土、砂土的密实程度及粘性土的坚硬程度的划分标准可参阅本丛书《房屋地基基础》一书。

III类场地土——包括以下几种：

1. 饱和松砂。指地下水位以下的孔隙比大于0.85（砾砂、粗砂、中砂）或0.95（细砂、粉砂）的砂土。这种土在强烈地震时容易丧失承载能力，使地基失效。在房屋抗震设计中应特别注意。

2. 淤泥和淤泥质土。这属于粘性土，是在静水或缓慢的流水环境中沉积，并经生物化学作用形成的。它的含水量和孔隙比都很大。当天然孔隙比大于1.5时叫做淤泥，小于1.5、大于1.0时叫做淤泥质土。这种土在强烈地震时，容易使房屋产生较大的沉降和不均匀沉降，造成上部结构损坏。

3. 杂填土。土内含有建筑垃圾、工业废料、生活垃圾等杂物。它的孔隙比也比较大、压缩性比较高。

4. 冲填土。由水力冲填泥砂形成的沉积土。它的含水量高、压缩性大、强度低。

Ⅲ类场地土属于软土，在地震区对于层数较高的建筑不宜作为天然地基。

选择建筑场地时，应对建筑场地进行勘察，查清场地土的分布情况、地下水位的高低、地震的活动情况，以及建筑场地的地形条件等。根据场地土和地形情况，判明对建筑物抗震有利、不利和危险的地段。尽量选择对建筑物抗震有利地段，避开不利地段，不应在危险地段进行建设。

对建筑物抗震有利地段，一般是指Ⅰ类场地土或坚实的Ⅱ类场地土、地形开阔平坦或为平缓坡等地段。

对建筑物抗震不利地段，一般是指Ⅲ类场地土、条状突出山嘴、高耸山包、非岩质的陡坡等地段。

对建筑物抗震危险地段，一般是指发震断层的邻近及地震时可能发生滑坡、山崩、地陷等地段。

2-2 地 基

1. 一般地基

一般地基是指由Ⅰ、Ⅱ类场地土构成的地基。这类地基具有良好的抗震性能，可作为天然地基。一般地基按容许承载力进行抗震强度验算，但应采用第一章所述的荷载组合。考虑到地震荷载属于特殊荷载，作用时间短暂，故将地基土的容许承载力按下式调整

$$[R]' = \psi[R] \quad (2-1)$$

式中 ψ ——地基土容许承载力调整系数。对一般粘性土，当 $[R] \leq 12$ 吨/米² 时，取 $\psi = 1.0$ ，当 $[R] \geq 30$ 吨/米² 时，取 $\psi = 1.7$ ，当 $[R]$ 在 12 吨/米² 和 30 吨/米² 之间时，按公式 (2-2) 计算；对于稳定的岩石类土、碎石土、砂土， ψ 一律取 1.25。

$$\psi = 0.53 + 0.039[R] \quad (2-2)$$

$[R]$ ——地基土容许承载力（吨/米²）；

$[R]'$ ——调整后的地基土容许承载力（吨/米²）。

经调查表明，建筑在一般地基上的五层和五层以下的一般民用房屋，以及设计烈度为 7 度、柱高不超过 10 米而各跨等高的单层房屋，地震时没有因地基发生问题而使上部结构破坏的。所以，建筑在一般地基上的上述房屋，可不进行地基抗震强度验算。

2. 特殊地基

特殊地基是指主要受力层●由Ⅲ类场地土或不均匀土层

-
- 地基主要受力层是指条形基础底面下深度为 $3B$ (B 为基础底面宽度)，单独基础下 $1B$ ，且厚度均不小于 5 米的范围（二层以下的民用建筑除外）。