

建筑结构设计计算条文与算例系列图书

建筑抗震设计 计算条文与算例

本书编委会 编

中国建筑工业出版社

建筑结构设计计算条文与算例系列图书

建筑抗震设计计算条文与算例

本书编委会 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑抗震设计计算条文与算例/本书编委会编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 12

(建筑结构设计计算条文与算例系列图书)

ISBN 978-7-112-17390-7

I. ①建… II. ①本… III. ①建筑结构-防震设计-计算
IV. ①TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 251203 号

本书依据国家最新颁布的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011) 等标准规范编写而成, 共分为五章, 内容包括: 基本规定, 多层和高层钢筋混凝土房屋, 砌体房屋, 多层和高层钢结构房屋, 隔震、消能减震设计和非结构构件。

本书可供建筑抗震设计人员、施工人员使用, 也可作为建筑工程院校各专业教学参考用书。

责任编辑: 武晓涛 张 磊

责任设计: 董建平

责任校对: 陈晶晶 刘梦然

建筑结构设计计算条文与算例系列图书

建筑抗震设计计算条文与算例

本书编委会 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 9 字数: 223 千字

2015 年 1 月第一版 2015 年 1 月第一次印刷

定价: 22.00 元

ISBN 978-7-112-17390-7
(26209)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会

主 编 李守巨

参 编 刁银霞 于 洋 齐洪月 远程飞

李 丹 李思琪 张 彤 张润楠

林悦先 赵 慧 赵子仪 赵春娟

徐书婧 董 慧 傅 晶

前 言

地震是由于某种原因引起的地面强烈震动，同台风、暴雨、洪水和雷电一样，属于一种自然现象。地震具有突发性和不可预测性，发生频率较高。每一次破坏性地震都给人类的财产、生命、身心、生活等各个方面造成严重影响，并且地震灾情因社会发展而加重。为了使广大从事建筑抗震设计的人员在从业过程中能够快速掌握建筑抗震具体设计计算方法，熟悉计算内容、步骤，同时在学习解决工程中的实际技术问题时能够得心应手地加以应用，我们组织相关技术人员，以《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)等现行标准规范为依据，并结合多年工程实际经验，编写了本书。

在内容编写上，本书依据最新的标准规范进行编写，简明扼要，通俗易懂，深入浅出，计算实例类型全面，解题思路清晰易懂，紧密联系实际，全面而系统地介绍了建筑抗震的设计理论和计算方法。

在结构体系上，本书重点突出，详略得当，注意相关知识的融贯性，并突出了整合性的编写原则。

本书在编写过程中参考了许多优秀书籍、专著等资料，并得到了有关业内人士的大力支持，在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中错误、疏漏在所难免，恳请广大读者提出宝贵意见。

目 录

1 基本规定	1
1.1 建筑抗震设防	1
1.1.1 建筑抗震设防分类	1
1.1.2 建筑抗震设防标准	1
1.1.3 建筑抗震设防目标和方法	2
1.1.4 建筑物抗震措施、抗震等级的烈度	3
1.2 建筑场地、地基和基础计算	4
1.2.1 建筑场地计算及实例	4
1.2.2 天然地基和基础计算及实例	10
1.2.3 液化土和软土地基计算及实例	16
1.2.4 桩基计算及实例	27
1.3 地震作用和结构抗震验算	30
1.3.1 地震作用计算及实例	30
1.3.2 结构抗震验算及实例	44
2 多层和高层钢筋混凝土房屋	55
2.1 单层钢筋混凝土柱厂房	55
2.1.1 单层钢筋混凝土厂房抗震计算方法	55
2.1.2 单层钢筋混凝土厂房抗震计算实例	58
2.2 框架结构抗震计算	59
2.2.1 计算方法	59
2.2.2 计算实例	73
2.3 框架-抗震墙结构抗震计算	76
2.3.1 计算方法	76
2.3.2 计算实例	88
3 砌体房屋	99
3.1 单层砖柱厂房	99
3.1.1 单层砖柱厂房抗震计算方法	99
3.1.2 单层砖柱厂房抗震计算实例	100
3.2 多层砖砌体房屋	103
3.2.1 多层砖砌体房屋截面抗震计算方法	103

3.2.2 多层砖砌体房屋截面抗震计算实例	105
3.3 混凝土砌块砌体房屋	109
3.3.1 混凝土砌块砌体房屋截面抗震计算方法	109
3.3.2 混凝土砌块砌体房屋截面抗震计算实例	110
3.4 底部框架房屋	117
3.4.1 底部框架房屋抗震计算方法	117
3.4.2 底部框架房屋抗震计算实例	118
4 多层和高层钢结构房屋	121
4.1 钢框架结构抗震计算	121
4.1.1 计算方法	121
4.1.2 计算实例	122
4.2 钢框架-中心支撑结构抗震计算	124
4.2.1 计算方法	124
4.2.2 计算实例	124
4.3 钢框架-偏心支撑结构抗震计算	125
4.3.1 计算方法	125
4.3.2 计算实例	127
5 隔震、消能减震设计和非结构构件	130
5.1 房屋隔震设计	130
5.1.1 隔震层水平等效刚度和等效黏滞阻尼比计算	130
5.1.2 水平地震影响系数最大值计算	131
5.1.3 隔震支座对应于罕遇地震水平剪力水平位移计算	131
5.2 房屋消能减震设计	132
5.2.1 消能部件附加给结构的有效阻尼比和有效刚度计算	132
5.2.2 消能部件设计参数计算	132
5.3 非结构构件	133
参考文献	137

1 基本规定

1.1 建筑抗震设防

1.1.1 建筑抗震设防分类

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。抗震设防区的所有建筑工程应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》（GB 50223—2008）确定其抗震设计的设防类别和相应的抗震设防标准。

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) 建筑使用功能失效后，对全局的影响范围大小、抗震救灾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，当所处地位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特殊设防类、重点设防类、适度设防类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。

1.1.2 建筑抗震设防标准

抗震设防标准是衡量抗震设防要求高低的尺度，由抗震设防烈度或设计地震动参数及

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) 对结构体系的要求时，允许按标准设防类设防。

1.1.3 建筑抗震设防目标和方法

1. 抗震设防目标

根据大量数据分析，我国地震烈度的概率分布基本符合极值Ⅲ型分布。我国对小震、中震、大震的三个概率水准做了具体规定，根据分析，当设计基准期取 50 年时：

1) 概率密度曲线的峰值烈度对应的超越概率（超过该烈度的概率）为 63.2%，将这一峰值烈度定义为小震烈度（又称众值烈度或多遇地震烈度），为第一水准烈度，对应的地震称为多遇地震。

2) 超越概率为 10% 所对应的地震烈度，称为中震烈度，为第二水准烈度。我国地震区划规定的各地基本烈度可取为中震烈度，即为抗震设防烈度，抗震设防烈度与设计基本地震加速度之间的对应关系见表 1-1。

抗震设防烈度和设计基本地震加速度值的对应关系

表 1-1

抗震设防烈度	6	7	8	9
设计基本地震加速度值	0.05g	0.10(0.15)g	0.20(0.30)g	0.40g

注：g 为重力加速度。

3) 超越概率为 2% 所对应的地震烈度，称为大震烈度（又称罕遇地震烈度），为第三水准烈度，对应的地震称为罕遇地震。

根据我国对地震危险性的统计分析得到：设防烈度比多遇烈度高约 1.55 度，而罕遇地震比基本烈度高约 1 度。

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，发生的可能性大，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，是不合算的，这时若允许有所损坏，但不倒塌，则是经济合理的。

我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)规定，设防烈度为6度及6度以上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，主体结构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抗震设防烈度的设防地震影响时，可能发生损坏，但经一般性修理仍可继续使用（中震可修）。

第三水准：当建筑物遭受高于本地区抗震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《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)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。

2. 抗震设防方法

为实现上述“三水准”的抗震设计目标，我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)采用“两阶段”设计方法：

第一阶段设计：当遭遇第一水准烈度时，结构处于弹性变形阶段。按与设防烈度对应的多遇地震烈度的地震作用效应和其他荷载效应组合，进行验算结构构件的承载能力和结构的弹性变形，从而满足第一水准和第二水准的要求，并通过概念设计和抗震构造措施来满足第三水准的要求。

第二阶段设计：当遭遇第三水准烈度时，结构处于非弹性变形阶段。同样应按与设防烈度对应的罕遇烈度的地震作用效应进行弹塑性层间位移验算，并采取相应的抗震构造措施满足第三水准的要求。

对于大多数比较规则的建筑结构，一般可只进行第一阶段的设计，而对于一些有特殊要求的建筑或不规则的建筑结构，除进行第一阶段设计之外，还应进行第二阶段设计。

1.1.4 建筑物抗震措施、抗震等级的烈度

多层和高层钢筋混凝土结构构件应根据抗震设防类别、所在地区的抗震设防烈度、所在地的场地类别、结构类型以及房屋高度采用不同的抗震等级，并且应符合相应的抗震措施。

1. 甲类、乙类建筑

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，当建筑场地为Ⅰ类时，应允许仍按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施。

2. 丙类建筑

应按本地区抗震设防烈度确定其抗震措施，当建筑场地为Ⅰ类时，除6度外，应允许

按本地区抗震设防烈度降低一度的要求采取抗震构造措施。

3. 丁类建筑

允许比本地区抗震设防烈度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。

当建筑场地为Ⅲ、Ⅳ类时，对设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区，除《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010) 中关于建造于Ⅳ类场地且较高的高层建筑的柱轴压比限值和最小总配筋率等规定外，宜分别按抗震设防烈度 8 度 (0.20g) 和 9 度 (0.40g) 时各抗震设防类别建筑的要求采取抗震构造措施。

确定抗震措施的抗震等级时应按表 1-2 选取烈度。

确定建筑物抗震措施抗震等级的烈度

表 1-2

所在地区的设防烈度		6(0.05g)		7(0.10g)		7(0.15g)			8(0.20g)		8(0.30g)			9(0.40g)	
场地类别		I	Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ	I	Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ	I	Ⅱ	Ⅲ、Ⅳ	I	Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ	I	Ⅱ	Ⅲ、Ⅳ	I	Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ
抗震构造措施	甲、乙类建筑	6	7	7	8	7	8	8*	8	9	8	9	9*	9	9*
	丙类建筑	6	6	6	7	6	7	8	7	8	7	8	9	8	9
	丁类建筑	6	6	6	7—	6	7—	8—	7	8—	7	8—	9—	8	9—
除抗震构造措施以外的其他抗震措施	甲、乙类建筑	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9*	9*
	丙类建筑	6	6	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9
	丁类建筑	6	6	7—	7—	7—	7—	7—	8—	8—	8—	8—	8—	9—	9—

注：1. “抗震措施”是除了地震作用计算和构件抗力计算以外的抗震设计内容，包括建筑总体布置、结构选型、地基抗液化措施、考虑概念设计对地震作用效应（内力和变形）的调整，以及各种抗震构造措施。

2. “抗震构造措施”是根据抗震概念设计的原则，一般不需要计算而对结构和非结构部分必须采取的各种细部构造，如构件尺寸、高厚比、轴压比、长细比、纵筋配筋率、箍筋配筋率、钢筋直径、间距等构造和连接要求等。

3. 8*、9* 表示比 8、9 度适当提高而不是提高一度的抗震措施。

4. 7—、8—、9—表示比 7、8、9 度适当降低而不是降低一度的抗震措施。

5. 甲、乙类建筑及Ⅲ、Ⅳ类场地且设计基本烈度为 0.15g 和 0.3g 的丙类建筑按表 1-2 确定抗震措施时，如果房屋高度超过对应的房屋最大适用高度，则应采取比对应抗震等级更有效的抗震构造措施。

1.2 建筑场地、地基和基础计算

1.2.1 建筑场地计算及实例

1. 场地地段划分

合理选择建筑场地，对建筑物的抗震安全至关重要。为此，首先要全面查明和分析有关场地条件引起震害的各种因素，如地质构造、地基土性质、地形和地貌等，然后根据各种因素的综合情况及影响程度，划分出对建筑抗震有利、一般、不利和危险地段，对不利及危险的地段提出合理的措施。

选择建筑场地时，应按表 1-3 划分对建筑抗震有利、一般、不利和危险的地段。

1.2 建筑场地、地基和基础计算

有利、一般、不利和危险地段的划分

表 1-3

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

选择建筑场地时，应根据工程需要，掌握地震活动情况、工程地质和地震地质的有关资料，对地段作出综合评价，宜选择有利的地段、避开不利的地段，当无法避开时应采取适当有效的抗震措施；不应在危险地段建造甲、乙、丙类建筑。

2. 场地类别划分

不同场地上的建筑震害差异是十分显著的。一般认为，场地条件对建筑震害的影响因素包括：场地土的刚性（即土的坚硬和密实程度）和场地覆盖层厚度。场地土的刚性一般用土的平均剪切波速表征，因为土的平均剪切波速是土的重要动力参数，是最能反映土的动力特性的。因此，建筑场地的类别划分，应以土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度为准。

(1) 土层等效剪切波速 建筑场地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 24m 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 1-4 划分土的类型，再利用当地经验在表 1-4 的剪切波速范围内估算各土层的剪切波速。

土的类型划分和剪切波速范围

表 1-4

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、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	$500\text{kPa} \geq v_s > 250$
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。

土层的等效剪切波速反应各土层的平均刚度，应按下列公式计算：

$$v_{se} = d_0 / t \quad (1-1)$$

$$t = \sum_{i=1}^n (d_i / v_{si}) \quad (1-2)$$

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 20m 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 (s)；

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。

等效剪切波速是根据地震波通过计算深度范围内多层土层的时间等于该波通过计算深度范围内单一土层的时间条件确定的。

设场地计算深度范围内有 n 层性质不同的土层组成，如图 1-1 所示，地震波通过它们的厚度分别为 $d_1, d_2, \dots, d_n$ ，并设计算深度为 $d_0 = \sum_{i=1}^n d_i$ ，于是：

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}} = \frac{d_0}{v_{se}} \quad (1-3)$$

经整理后，即得等效剪切波速计算公式。

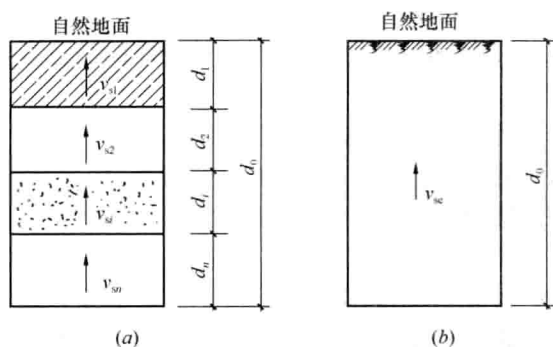


图 1-1 多层土等效剪切波速的计算

(a) 多层土；(b) 单一土层

(2) 场地覆盖层厚度 场地覆盖层厚度，原意是指从地表面至地下基岩面的距离。从理论上讲，当相邻的两土层中的下层剪切波速比上层剪切波速大很多时，下层可以看作基岩，下层顶面至地表的距离则看作覆盖层厚度。覆盖层厚度的大小直接影响场地的周期和加速度。我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010) 中按如下原则确定场地覆盖层厚度：

1) 一般情况下，应按地面至剪切波速大于 500m/s 且其下卧各层岩土层的剪切波速均不小于 500m/s 的土层顶面的距离确定。

2) 当地面 5m 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岩土层的剪切波速均不小于 400m/s 时，可按地面至该土层顶面的距离确定。

3) 剪切波速大于 500m/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。

(3) 场地类别 建筑场地的类别是场地条件的基本表征，应根据土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度按表 1-5 划分为四类，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 1-5 所列场地类别的分界线附近时，应允许按照插值方法确定地震作用计算所用的特征周期。

1.2 建筑场地、地基和基础计算

各类建筑场地的覆盖层厚度 (m)

表 1-5

岩石的剪切波速或 土的等效剪切波速 (m/s)	场 地 类 别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
$v_s > 800$	0				
$800 \geq v_s > 500$		0 _s			
$500 \geq v_{se} > 250$		<5	≥ 5		
$250 \geq v_{se} > 150$		<3	3~50	>50	
$v_{se} \leq 150$		<3	3~15	15~80	>80

注：表中 v_s 系岩石的剪切波速。

上述场地分类方法主要适用于剪切波速随深度呈递增趋势的一般场地，对于有较厚软夹层的场地，由于其对短周期地震动具有抑制作用，可以根据分析结果适当调整场地类别和设计地震动参数。

3. 建筑场地评价及相关规定

1) 场地内存在发震断裂时，应对断裂的工程影响进行评价，并应符合下列要求：

① 对符合下列规定之一的情况，可忽略发震断裂错动对地面建筑的影响：

- 抗震设防烈度小于 8 度。
- 非全新世活动断裂。
- 抗震设防烈度为 8 度和 9 度时，隐伏断裂的土层覆盖厚度分别大于 60m 和 90m。

② 对不符合①款规定的情况，应避开主断裂带。其避让距离不宜小于表 1-6 对发震断裂最小避让距离的规定。在避让距离的范围内确有需要建造分散的、低于三层的丙、丁类建筑时，应按提高一度采取抗震措施，并提高基础和上部结构的整体性，且不得跨越断层线。

发震断裂的最小避让距离 (m)

表 1-6

烈度	建筑抗震设防类别			
	甲	乙	丙	丁
8	专门研究	200	100	—
9	专门研究	400	200	—

2) 当需要在条状突出的山嘴、高耸孤立的山丘、非岩石和强风化岩石的陡坡、河岸和边坡边缘等不利地段建造丙类及丙类以上建筑时，除保证其在地震作用下的稳定性外，尚应估计不利地段对设计地震动参数可能产生的放大作用，其水平地震影响系数最大值应乘以增大系数。其值应根据不利地段的具体情况确定，在 1.1~1.6 范围内采用。

局部突出地形对地震动参数的放大作用，主要依据宏观震害调查的结果和对不同地形条件和岩土构成的形体所进行的二维地震反应分析结果。所谓局部突出地形主要是指山包、山梁和悬崖、陡坎等，情况比较复杂，对各种可能出现的地震动参数的放大作用都作出具体的规定是很困难的。从宏观震害经验和地震反应分析结果所反映的总趋势，大致可以归纳为以下几点：

- ① 高突地形距离基准面的高度愈大，高处的反应愈强烈。

- ② 离陡坎和边坡顶部边缘的距离愈大, 反应相对减小。
- ③ 从岩土构成方面看, 在同样地形条件下, 土质结构的反应比岩质结构大。
- ④ 高突地形顶面愈开阔, 远离边缘的中心部位的反应是明显减小的。
- ⑤ 边坡愈陡, 其顶部的放大效应相应加大。

基于以上变化趋势, 以突出地形的高差 H , 坡降角度的正切 H/L 以及场址距突出地形边缘的相对距离 L_1/H 为参数, 归纳出各种地形的地震力放大作用如下:

$$\lambda = 1 + \xi\alpha \quad (1-4)$$

式中 λ ——局部突出地形顶部的地震影响系数的放大系数;

α ——局部突出地形地震动参数的增大幅度, 按表 1-7 采用;

ξ ——附加调整系数, 与建筑场地离突出台地边缘的距离 L_1 与相对高差 H 的比值有关。当 $L_1/H < 2.5$ 时, ξ 可取为 1.0; 当 $2.5 \leq L_1/H < 5$ 时, ξ 可取为 0.6; 当 $L_1/H \geq 5$ 时, ξ 可取为 0.3。 L 、 L_1 均应按距离场地的最近点考虑。

局部突出地形地震影响系数的增大幅度 表 1-7

突出地形的 高度 H (m)	非岩质地层	$H < 5$	$5 \leq H < 15$	$15 \leq H < 25$	$H \geq 25$
	岩质地层	$H < 20$	$20 \leq H < 40$	$40 \leq H < 60$	$H \geq 60$
局部突出台 地边缘的侧 向平均坡降 (H/L)	$H/L < 0.3$	0	0.1	0.2	0.3
	$0.3 \leq H/L < 0.6$	0.1	0.2	0.3	0.4
	$0.6 \leq H/L < 1.0$	0.2	0.3	0.4	0.5
	$H/L \geq 1.0$	0.3	0.4	0.5	0.6

3) 场地岩土工程勘察, 应根据实际需要划分的对建筑有利、一般不利和危险的地段, 提供建筑的场地类别和岩土地震稳定性(含滑坡、崩塌、液化和震陷特性)评价, 对需要采用时程分析法补充计算的建筑, 尚应根据设计要求提供土层剖面、场地覆盖层厚度和有关的动力参数。

4. 场地的卓越周期

场地卓越周期或固有周期是场地的主要地震动参数之一, 它的长短随场地土类型、地质构造、震级、震源深度、震中距大小等多种因素而变化。

场地卓越周期可根据剪切波重复反射理论按下式计算:

$$T = \frac{4d_0}{v_{sc}} \quad (1-5)$$

式中各符号含义同式 (1-1)。

卓越周期长, 则场地土软; 反之, 卓越周期短, 则场地土硬。

震害表明, 当建筑物的自振周期与场地卓越周期相等或相近时, 建筑物与场地发生共振, 则建筑物的震害往往趋于严重。因此, 抗震设计中应使两者的周期避开, 避免这一现象的发生。

【例 1-1】 已知某建筑场地地质钻孔资料如表 1-8 所示, 试计算等效剪切波速。

1.2 建筑场地、地基和基础计算

地质钻孔资料

表 1-8

土层底部深度 (m)	土层厚度 (m)	岩土名称	土层剪切波速 (m/s)
2.50	2.50	杂填土	200
4.00	1.50	粉 土	260
4.90	0.90	中 砂	320
6.10	1.20	砾 砂	550

【解】

确定场地覆盖层厚度。根据地面下 4.9m 以下土层剪切波速为 550m/s，所以场地计算深度 $d_0=4.9\text{m}$ 。由式 (1-3) 有：

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}} = \frac{2.50}{200} + \frac{1.50}{260} + \frac{0.90}{320} = 0.021\text{s}$$

$$v_{sc} = d_0/t = 4.90/0.021 = 233\text{m/s}$$

【例 1-2】 已知某建筑场地地质钻孔资料如表 1-8 所示，试确定该场地类别。

【解】

由例 1-1 得等效剪切波速为 233m/s，查表 1-5 得，当 $250\text{m/s} \geq v_{sc} = 233\text{m/s} > 150\text{m/s}$ ，且 $3\text{m} < d_{ov} = 4.9\text{m} < 50\text{m}$ 时，该场地属于 II 类场地。

【例 1-3】 表 1-9 为 8 层、高度为 24m 丙类建筑的场地地质钻孔资料（无剪切波速资料），试确定该场地类别。

8 层、高度为 24m 丙类建筑的场地地质钻孔资料

表 1-9

土层底部深度 (m)	土层厚度 (m)	岩土名称	地基土静承载力特征值 (kPa)
2.20	2.20	杂填土	130
8.00	5.80	粉质黏土	140
12.50	4.50	黏土	150
20.70	8.20	中密的细砂	180
25.00	4.30	基岩	700

【解】

场地覆盖层厚度 $= 20.7\text{m} > 20\text{m}$ ，故取场地计算深度 $d_0=20\text{m}$ 。本例在计算深度范围内有四层土，根据杂填土静承载力特征值 $f_{ak}=130\text{kN/m}^2$ ，由表 1-4 取其剪切波速值 $v_s=150\text{m/s}$ ；根据粉质黏土、黏土静承载力特征值分别为 140kN/m^2 和 150kN/m^2 ，以及中密的细砂，由表 1-4 查得，它们的剪切波速值范围均在 $250 \sim 150\text{m/s}$ 之间，现取其平均值 $v_s=200\text{m/s}$ 。

将上列数值代入式 (1-3) 得：

$$v_{sc} = \frac{d_0}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} = \frac{20}{\frac{2.20}{150} + \frac{5.80}{200} + \frac{4.50}{200} + \frac{7.50}{200}} = 193\text{m/s}$$

由表 1-5 可知，该建筑场地为 II 类场地。

【例 1-4】 已知某拟建办公写字楼的建筑场地，其地质钻孔资料如表 1-10 所示，试确定该场地的类别。

1 基 本 规 定

建筑场地地质钻孔资料

表 1-10

土层底部深度 (m)	土层厚度 (m)	岩土名称	土层剪切波速 (m/s)
2.00	2.00	杂填土	220
4.50	2.50	粉土	260
8.40	3.90	中砂	350
16.70	8.30	碎石土	550

【解】

(1) 确定土层计算深度

因为地表下 8.4m 以下土层的剪切波速 $v_s=550\text{m/s}>500\text{m/s}$, 故场地覆盖层厚度 $d_{ov}=8.4\text{m}$, 又 $d_{ov}<20\text{m}$, 所以土层计算深度 $d_0=8.4\text{m}$ 。

(2) 计算等效剪切波速

按式 (1-3) 有:

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}} = \frac{2.00}{220} + \frac{2.50}{260} + \frac{3.90}{350} = 0.0298\text{s}$$

$$v_{se} = d_0/t = 8.40/0.0298 = 281.9\text{m/s}$$

(3) 确定场地类别

查表 1-5, $v_{se}=281.9\text{m/s}$ 位于 $250\sim500\text{m/s}$ 之间, 且覆盖层厚度 $d_{ov}>5\text{m}$, 因此, 该场地为 II 类。

【例 1-5】 表 1-11 为某工程场地地质钻孔资料, 试确定该场地的覆盖层厚度。

某工程场地地质钻孔资料

表 1-11

土层编号	土层底部厚度 (m)	土层厚度 (m)	岩土名称	剪切波速 (m/s)
①	3.00	3.00	杂填土	120
②	5.50	2.50	粉质黏土	140
③	8.00	2.50	细砂	145
④	10.40	2.40	中砂	420
⑤	13.70	3.30	砾砂	430

【解】

因为第④层土顶面的埋深为 8m, 大于 5m, 且其剪切波速均大于该层以上各土层的 2.5 倍, 而第④层和第⑤层土的剪切波速均大于 400m/s 。根据覆盖层厚度确定的要求, 本场地可按地面至第④层土顶面的距离确定覆盖层厚度, 即 $d_{ov}=8\text{m}$ 。

1.2.2 天然地基和基础计算及实例

在地震作用下, 为了保证建筑物的安全和正常使用, 对地基而言, 与静力计算一样, 应同时满足地基承载力和变形的要求。但是, 在地震作用下由于地基变形过程十分复杂, 目前还没有条件进行这方面的定量计算。因此, 《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)