

建筑工程常用公式及应用系列 >>

建筑抗震 常用公式及应用

李守巨 主编

$$\sum M_c = \eta_c \sum M_b$$

$$M_B = 1.3 \sum M_b / \sum M_c$$

$$V = \eta_{vc} (M_c^l + M_c^r) / H_n$$



化学工业出版社

建筑工程常用公式及应用

建筑抗震 常用公式及应用

李守巨 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书依据最新的标准规范进行编写,全面而系统地介绍了建筑抗震中的计算公式,同时将理论知识与实际应用相结合,更加具有真实性和实用性。全书共分为8章,内容主要包括建筑抗震基础知识,场地、地基与基础,地震作用和结构抗震验算,钢筋混凝土房屋抗震设计,砌体结构房屋抗震设计,钢结构房屋抗震设计,单层工业厂房抗震设计,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、施工人员阅读,也可供大中专院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑抗震常用公式及应用/李守巨主编. —北京:
化学工业出版社, 2014. 1
(建筑工程常用公式及应用系列)
ISBN 978-7-122-19302-5

I. ①建… II. ①李… III. ①建筑结构-防震设计-
设计公式 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第304142号

责任编辑:徐娟
责任校对:蒋宇

文字编辑:荣世芳
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印刷:北京永鑫印刷有限责任公司
装订:三河市宇新装订厂
850mm×1168mm 1/32 印张9 字数252千字
2014年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.80元

版权所有 违者必究

前言 FOREWORD

随着我国国民经济的飞速发展，不仅人民生活水平得到了提高，各项建设工程也得到迅猛发展，一座座建筑如雨后春笋般拔地而起。而我国作为遭受地震灾害最严重的国家之一，建筑结构抗震设计及其施工措施受到了社会各界的广泛关注。

近年来，为了适应当前建筑结构减震的发展需要，我国对建筑领域的一系列标准规范进行了修订与完善，因而市面上出现了很多介绍建筑抗震设计、施工的书籍，但这些书籍大多数是在介绍设计原理、设计体系的同时，将建筑抗震常用的计算公式包罗其中进行泛泛讲解，读者在遇到有关建筑抗震的计算问题时，查阅起来很不方便，因此迫切需要一本囊括建筑抗震设计常用计算公式的参考书作为参考和指导。基于以上原因，我们组织相关技术人员，依据国家最新颁布的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)等标准规范，编写了这本《建筑抗震常用公式及应用》，旨在满足广大建筑抗震设计及施工技术人员的迫切需要，帮助他们快速解决一些与建筑抗震有关的计算问题，提高其业务水平和操作技能，保证工程施工质量。

本书依据最新的标准规范进行编写，全面而系统地介绍了建筑抗震中的计算公式，使读者参考起来更加便捷，掌握更加迅速。同时，本书将理论知识与实际应用

相结合，用实例来说话，让原本枯燥乏味的公式更加实用。

本书由李守巨主编，由张敏、姜媛、张一帆、刘秀民、吕克顺、韩旭、危聪、邹雯、李香香、张敏、李冬云、白雅君共同完成。

本书在编写过程中，得到了有关技术人员和学者的热情帮助，在此表示感谢。由于作者时间和水平有限，尽管编者尽心尽力，反复推敲核实，但疏漏之处在所难免，恳请有关专家和读者提出宝贵意见，以便做进一步修改和完善。

编者

2013 年 8 月

CONTENTS

目录

	Page
1 建筑抗震基础知识	1
1.1 建筑抗震设防分类和设防标准	1
1.2 地震影响	2
1.3 场地和地基	3
1.4 建筑形体及其构件布置的规则性	5
1.5 结构体系及分析	11
1.5.1 结构体系	11
1.5.2 结构分析	12
1.5.3 非结构构件	13
1.6 隔震与消能减震设计	14
1.7 结构材料与施工	14
1.8 建筑抗震性能化设计及反应监测系统	16
2 场地、地基与基础	22
2.1 建筑场地	22
2.1.1 建筑场地类别的划分	22
2.1.2 建筑场地的选用	24
2.2 天然地基和基础	28
2.2.1 地基基础抗震设计要求	28
2.2.2 地基抗震承载力	29
2.2.3 地基抗震承载力的验算	31
2.2.4 公式应用	32
2.3 液化土和软土地基	35
2.3.1 液化地基判别和处理原则	35

2.3.2	液化判别	36
2.3.3	地基液化等级	37
2.3.4	震陷性软土的判别	38
2.3.5	公式应用	39
2.4	桩基	46
2.4.1	可不进行桩基抗震承载力验算范围	46
2.4.2	桩基抗震验算要点	47
2.4.3	桩基抗震措施	48
2.4.4	公式应用	48

3.1	地震作用计算	52
3.1.1	地震影响系数的确定	52
3.1.2	水平地震作用计算	53
3.1.3	竖向地震作用计算	61
3.1.4	公式应用	63
3.2	抗震验算	75
3.2.1	截面抗震验算	75
3.2.2	抗震变形验算	77
3.2.3	公式应用	79

4.1	框架结构抗震计算	88
4.1.1	框架梁抗震计算	88
4.1.2	框架柱及框支柱抗震计算	92
4.1.3	铰接排架柱抗震计算	100
4.1.4	框架梁柱节点抗震计算	103
4.1.5	框架节点核心区的抗震验算	109
4.1.6	公式应用	112

4.2	框架-抗震墙结构抗震计算	145
4.2.1	剪力墙及连梁抗震计算	145
4.2.2	矩形平面抗震墙结构框支层楼板设计要求	156
4.2.3	板柱节点抗震计算	157
4.2.4	公式应用	159

5

砌体结构房屋抗震设计

Page

172

5.1	多层砌体房屋抗震计算	172
5.1.1	地震作用计算	172
5.1.2	楼层地震剪力在各墙体间的分配	173
5.1.3	砖砌体构件承载力计算	177
5.1.4	混凝土砌块砌体构件	179
5.1.5	配筋砌块砌体抗震墙	181
5.1.6	公式应用	184
5.2	底部框架-抗震墙砌体房屋的抗震设计	189
5.2.1	底部框架-抗震墙砌体房屋的抗震概念设计	189
5.2.2	底部框架-抗震墙砌体房屋的抗震计算	196
5.2.3	公式应用	197

6

钢结构房屋抗震设计

Page

201

6.1	钢框架构件抗震计算	201
6.1.1	钢框架构件及节点抗震承载力验算	201
6.1.2	中心支撑框架构件抗震承载力验算	202
6.1.3	钢结构抗侧力构件连接计算	203
6.1.4	公式应用	205
6.2	钢框架-偏心支撑结构抗震计算	207
6.2.1	偏心支撑框架的消能梁段	207
6.2.2	消能梁段的抗震承载力验算	209

7

单层工业厂房抗震设计

Page

213

7.1 单层厂房横向抗震计算	213
7.1.1 等效重力荷载代表值	213
7.1.2 基本自振周期	216
7.1.3 排架柱地震剪力和弯矩的调整系数	217
7.1.4 公式应用	219
7.2 单层厂房纵向抗震计算	223
7.2.1 单层钢筋混凝土柱厂房纵向抗震计算的修正刚度法	223
7.2.2 单层钢筋混凝土柱厂房柱间支撑地震作用效应及验算	225
7.2.3 单层钢筋混凝土柱厂房柱间支撑端节点预埋件的截面抗震验算	226
7.2.4 单层砖柱厂房纵向抗震计算的修正刚度法	227
7.2.5 公式应用	228
7.3 天窗架抗震计算	230
7.4 牛腿抗震计算	231

8

隔震、消能减震设计和非结构构件

Page

232

8.1 房屋隔震设计	232
8.1.1 隔震层的水平等效刚度和等效黏滞阻尼比的计算	232
8.1.2 水平地震影响系数最大值的计算	233
8.1.3 隔震支座对应于罕遇地震水平剪力的水平位移的计算	234
8.2 房屋消能减震设计	235

8.2.1	消能部件附加给结构的有效阻尼比和有效刚度的计算	235
8.2.2	消能部件的设计参数的计算	236
8.3	非结构构件	237

		Page
附录 A	我国主要城镇抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组	240

		Page
附录 B	深层平板载荷试验要点	260

		Page
附录 C	板柱节点计算用等效集中反力设计值	261

		Page
附录 D	实现抗震性能设计目标的参考方法	266

		Page
参考文献		272

1.1

建筑抗震设防分类和设防标准

(1) 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其抗震设防标准。

《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008) 将建筑工程分为以下四个抗震设防类别。

① 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：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：指大量的除①、②、④款以外按标准要求进行设防的建筑，简称丙类。

④ 适度设防类：指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。

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，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，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，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。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，其抗震措施允许比本地区抗震设防烈度的要求适当降低，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。

(2) 抗震设防烈度为 6 度时，除有具体规定外，对乙、丙、丁类的建筑可不进行地震作用计算。

1.2 地震影响

(1) 建筑所在地区遭受的地震影响，应采用相应于抗震设防烈度的设计基本地震加速度和特征周期表征。

(2) 抗震设防烈度和设计基本地震加速度取值的对应关系，应符合表 1-1 的规定。设计基本地震加速度为 $0.15g$ 和 $0.30g$ 地区内的建筑，除另有规定外，应分别按抗震设防烈度 7 度和 8 度的要求进行抗震设计。

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

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) 地震影响的特征周期应根据建筑所在地的设计地震分组和场地类别确定。《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010) 的设计地震共分为三组，其特征周期取值根据场地类别和设计地震分组按表 1-2 采用，可更好地体现震级和震中距的影响。

表 1-2 特征周期值

单位： s

设计地震分组	场 地 类 别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

(4) 我国主要城镇(县级及县级以上城镇)中心地区的抗震设防烈度、设计基本地震加速度值和所属的设计地震分组,可按附录A采用。

1.3 场地和地基

(1) 选择建筑场地时,应根据工程需要和地震活动情况、工程地质和地震地质的有关资料,对抗震有利、一般、不利和危险地段做出综合评价。对不利地段,应提出避开要求;当无法避开时应采取有效的措施。对危险地段,严禁建造甲、乙类的建筑,不应建造丙类的建筑。

(2) 建筑场地为Ⅰ类时,对甲、乙类的建筑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;对丙类的建筑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,但抗震设防烈度为6度时仍应按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施。

(3) 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,除另有规定外,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。

(4) 地基和基础设计应符合下列要求。

① 同一结构单元的基础不宜设置在性质截然不同的地基上。

② 同一结构单元不宜部分采用天然地基部分采用桩基;当采用不同基础类型或基础埋深显著不同时,应根据地震时两部分地基基础的沉降差异,在基础、上部结构的相关部位采取相应措施。

③ 地基为软弱黏性土、液化土、新近填土或严重不均匀土时,应根据地震时地基不均匀沉降和其他不利影响采取相应的措施。

(5) 山区建筑的场地和地基基础应符合下列要求。

① 山区建筑场地勘察应有边坡稳定性评价和防治方案建议;应根据地质、地形条件和使用要求,因地制宜设置符合抗震设防要求的边坡工程。

② 边坡设计应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》

(GB 50330—2011) 的要求；其稳定性验算方法如下。

a. 地基稳定性可采用圆弧滑动面法进行验算。最危险的滑动面上诸力对滑动中心所产生的抗滑力矩与滑动力矩应符合下式要求：

$$M_R/M_S \geq 1.2 \quad (1-1)$$

式中 M_S ——滑动力矩， $\text{kN} \cdot \text{m}$ ；

M_R ——抗滑力矩， $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

b. 位于稳定土坡坡顶上的建筑，应符合下列规定。

(a) 对于条形基础或矩形基础，当垂直于坡顶边缘线的基础底面边长小于或等于 3m 时，其基础底面外边缘线至坡顶的水平距离 (图 1-1) 应符合下式要求，且不得小于 2.5m：

条形基础

$$a \geq 3.5b - \frac{d}{\tan\beta} \quad (1-2)$$

矩形基础

$$a \geq 2.5b - \frac{d}{\tan\beta} \quad (1-3)$$

式中 a ——基础底面外边缘线至坡顶的水平距离，m；

b ——垂直于坡顶边缘线的基础底面边长，m；

d ——基础埋置深度，m；

β ——边坡坡角， $(^\circ)$ 。

(b) 当基础底面外边缘线至坡顶的水平距离不满足式(1-2)、式(1-3)的要求时，可根据基底平均压力按式(1-1)确定基础距坡顶边缘的距离和基础埋深。

(c) 当边坡坡角大于 45° 、坡高大于 8m 时，尚应按式(1-1)验算坡体稳定性。

c. 有关的摩擦角应按设防烈度的高低相应修正。这里的修正，指地震主动土压力按库仑理论计算时：土的重度除以地震角的余弦，填土的内摩擦角减去地震角，土对墙背的摩擦角增加地震角。

地震角的范围取 $1.5^\circ \sim 10^\circ$ ，取决于地下水位以上还是以下以及设防烈度的高低，可参见表 1-3。

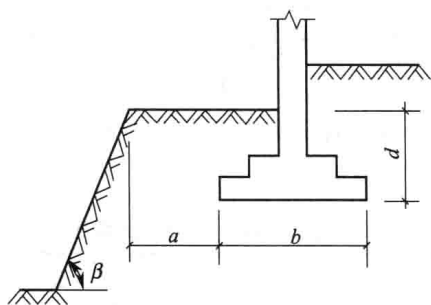


图 1-1 基础底面外边缘线至坡顶的水平距离示意

表 1-3 挡土结构的地震角

类 别	7 度		8 度		9 度
	0.1g	0.15g	0.2g	0.3g	0.4g
水上	1.5°	2.3°	3°	4.5°	6°
水下	2.5°	3.8°	5°	7.5°	10°

③ 边坡附近的建筑基础应进行抗震稳定性设计。建筑基础与土质、强风化岩质边坡的边缘应留有足够的距离，其值应根据设防烈度的高低确定，并采取措施避免地震时地基基础破坏。

1.4 建筑形体及其构件布置的规则性

(1) 建筑设计应根据抗震概念设计的要求明确建筑形体的规则性。不规则的建筑应按规定采取加强措施；特别不规则的建筑应进行专门研究和论证，采取特别的加强措施；严重不规则的建筑不应采用。形体指建筑平面形状和立面、竖向剖面的变化。

三种不规则程度的主要划分方法如下。

① 不规则，指的是超过表 1-4 和表 1-5 中一项及以上的不规则指标。

② 特别不规则，指具有较明显的抗震薄弱部位，可能引起不

良后果者，其参考界限可参见《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》，通常有三类：a. 同时具有表 1-4、表 1-5 所列六个主要不规则类型的三个或三个以上；b. 具有表 1-6 所列的一项不规则；c. 具有表 1-4、表 1-5 所列两个方面的基本不规则且其中有一项接近表 1-6 的不规则指标。

表 1-4 平面不规则的主要类型

不规则类型	定义和参考指标
扭转不规则	在规定的水平力作用下，楼层的最大弹性水平位移或（层间位移），大于该楼层两端弹性水平位移（或层间位移）平均值的 1.2 倍，如图 1-2 所示
凹凸不规则	平面凹进的尺寸，大于相应投影方向总尺寸的 30%，如图 1-3 所示
楼板局部不连续	楼板的尺寸和平面刚度急剧变化，例如，有效楼板宽度小于该层楼板典型宽度的 50%，或开洞面积大于该层楼面面积的 30%，或较大的楼层错层，如图 1-4 所示

表 1-5 竖向不规则的主要类型

不规则类型	定义和参考指标
侧向刚度不规则	该层的侧向刚度小于相邻上一层的 70%，或小于其上相邻三个楼层侧向刚度平均值的 80%；除顶层或出屋面小建筑外，局部收进的水平向尺寸大于相邻下一层的 25%，如图 1-5 所示
竖向抗侧力构件不连续	竖向抗侧力构件（柱、抗震墙、抗震支撑）的内力由水平转换构件（梁、桁架等）向下传递，如图 1-6 所示
楼层承载力突变	抗侧力结构的层间受剪承载力小于相邻上一楼层的 80%，如图 1-7 所示

表 1-6 特别不规则的项目

不规则类型	简要涵义
扭转偏大	裙房以上有较多楼层考虑偶然偏心的扭转位移比大于 1.4
抗扭刚度弱	扭转周期比大于 0.9，混合结构扭转周期比大于 0.85
层刚度偏小	本层侧向刚度小于相邻上层的 50%
高位转换	框支墙体的转换构件位置：7 度超过 5 层，8 度超过 3 层
厚板转换	7~9 度设防的厚板转换结构
塔楼偏置	单塔或多塔合质心与大底盘的质心偏心距大于底盘相应边长 20%
复杂连接	各部分层数、刚度、布置不同的错层或连体两端塔楼显著不规则的结构
多重复杂	同时具有转换层、加强层、错层、连体和多塔类型中的 2 种以上

③ 严重不规则,指的是形体复杂,多项不规则指标本节第(4)条上限值或某一项大大超过规定值,具有现有技术和经济条件不能克服的严重的抗震薄弱环节,可能导致地震破坏的严重后果者。

(2) 建筑设计应重视其平面、立面和竖向剖面的规则性对抗震性能及经济合理性的影响,宜择优选用规则的形体,其抗侧力构件的平面布置宜规则对称、侧向刚度沿竖向宜均匀变化、竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐减小,避免侧向刚度和承载力突变。

不规则建筑的抗震设计应符合本节第(4)条的有关规定。

(3) 建筑形体及其构件布置的平面、竖向不规则性,应按下列要求划分。

① 混凝土房屋、钢结构房屋和钢-混凝土混合结构房屋存在表 1-4 所列举的某项平面不规则类型或表 1-5 所列举的某项竖向不规则类型以及类似的不规则类型,应属于不规则的建筑。

② 砌体房屋、单层工业厂房、单层空旷房屋、大跨屋盖建筑和地下建筑的平面和竖向不规则性的划分,应符合本书有关章节的规定。

③ 当存在多项不规则或某项不规则超过规定的参考指标较多时,应属于特别不规则的建筑。

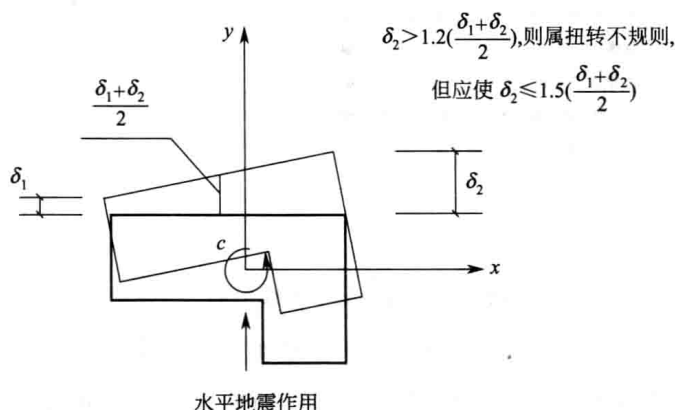


图 1-2 建筑结构平面的扭转不规则示例