

高层及多层钢筋混凝土建筑 抗震设计手册

魏 珪 主编



地震出版社

1990

高层及多层钢筋混凝土建筑 抗震设计手册

魏 琰 主编

地震出版社

1990

内 容 简 介

本书计12章, 10个附录, 13个工程设计实例。

正文简述高层建筑设计中风及地震荷载的计算, 设计地震动参数及输入地震波的选用, 系统介绍框架、框架剪力墙、筒中筒(包括横缝裙梁筒中筒)、特殊体型结构及桩基、箱基的抗震设计计算方法、程序使用、截面设计及构造要求。并介绍了《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》中新的场地分类、深层液化判别、反应谱曲线、抗震时程设计法、弹塑性地震反应及抗震可靠度分析等内容。

附录介绍正确的剪力墙剪切形式系数 μ 值表、剪力墙合理数量表、剪力墙截面强度计算、圆截面柱配筋及日本劲性钢筋混凝土构件计算等最新资料。

设计实例主要按《工业与民用建筑抗震设计规范(TJ11-78)》及其他现行结构设计规范进行, 但应用了《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》的部分有关规定。实例包括太原19层三角形职工教育楼、北京蝶形国际饭店工程、南京一端设置塔楼的海关大楼、深圳26层带斜墙购物中心、某28层复杂体型住宅、凤凰大厦、某筒中筒结构工程及Y形首都宾馆等。各工程实例分别介绍了从地基基础到上部结构抗震设计的全过程。为了配合《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》实施, 有的算例在常规配筋设计后进行弹塑性时程分析, 以验算罕遇大地震作用下的抗倒塌安全性。

本书在论述上兼顾了《工业与民用建筑抗震设计规范(TJ11-78)》及《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》两本抗震规范, 可起到承前启后的作用, 有利于读者更好理解新老规范之间的相互关系以及有关条文修订或增订的理由与依据。

本书可供土建设计人员进行高层及多层钢筋混凝土建筑抗震设计参考, 也可作大专院校师生及科研人员参考用书。

高层及多层钢筋混凝土建筑 抗震设计手册

魏 珪 主编

责任编辑: 蒋乃芳

责任校对: 李和文

地 震 出 版 社 出 版

北京市民族学院南路9号

一二〇一工厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

787×1092 1/16 29.5印张 755千字
1990年7月第一版 1990年7月第一次印刷
印数 00001—17000

ISBN 7-5028-0360-2/TU·21

(750) 定价: 20.00元

本书编写人员

主 编：魏 琰

主要编写人员：魏 琰 姜敬凯 韦承基 戴国莹
吴绮芸 钱力航 王有为

参加编写及校核人员(姓氏笔划为序)：

王广军	王兴祥	叶 倩	叶 滋
叶溥泗	冯业本	许 进	刘 华
刘奇实	刘振昌	朱锦心	杨 鉴
陈 昶	陈松盛	陈锡智	吴立民
苏经宇	张久闻	张仕通	林春哲
林家浩	岳葆纲	钟万颢	柯长华
胡水根	胡世平	赵国扬	郭松云
秦 洪	顾 滇	莫沛锵	徐显毅
喻永声	葛增杰	程懋堃	雷有光
滕 俊			

前 言

《高层及多层钢筋混凝土建筑抗震设计手册》的出版,是各编写单位的同志几年来在高层建筑抗震设计领域辛勤耕耘、齐心协作的结果,是一件值得庆幸的事。

如所周知,高层建筑抗震设计是一门具有丰富内容与广阔天地的领域,还有许多理论与实际问题有待我们去探索与解决。1985年墨西哥大地震中一些高层建筑倒塌的震例,更引起了国际地震工程学界与广大设计人员的关注与重视。继续大力开展这方面的研究与抗震设计技术的普及和提高无疑是必要的,希望本书能在这方面起到积极的作用。

鉴于《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》(简称《89抗震规范》)业已经建设部批准,于1990年1月1日颁布并与现行《工业与民用建筑抗震设计规范(TJ11-78)》(简称《78抗震规范》)并行执行,因此,本书在论述上兼顾这两本规范,采用对比方法,介绍《78抗震规范》与《89抗震规范》的有关规定,以起到承前启后的作用,帮助读者更好理解《78抗震规范》与《89抗震规范》的相互关系以及有关条文修订或增补的理由与依据。

本书共12章,阐述了高层及多层建筑抗震设计的各个方面,包括延性构造。对于地震荷载,既介绍常规的反应谱方法,也介绍设计地震动参数的选取方法,使高层建筑地震荷载的计算更为科学合理与符合实际;在设计计算方法上,既介绍《78抗震规范》采用的平面多质点系统振型分解法,也阐述《89抗震规范》中对具有扭转耦联地震反应时的推广应用以及时程分析法等,后者在日本、美等国高层建筑的抗震设计中业已采用;在结构类型上,既介绍平面框架、框剪、剪力墙等可采用空间协同分析的对称及不对称结构,也介绍了须采用空间计算的复杂体型结构和筒中筒结构等,可称基本完备。

为了使内容更为完整,在介绍上部结构抗震设计的同时,还介绍了高层建筑桩基与箱基的设计计算方法与构造;同时提供了高层建筑结构扩初设计的内容。本书所纳入的工程实例共13个,从设计地震动参数的选用、高层建筑结构扩初设计直至工程结构与基础的抗震设计、计算与构造,均附有不同实例予以说明,还给出了几个工程弹塑性地震反应分析的结果。

在编写本书过程中注意了以下诸点:

(1) 理论联系实际。本书既阐述设计理论与方法,也介绍各项具体构造规定与要求,并通过各具不同特色的工程实例来说明方法的应用以及各方法的特点与适用场合。

(2) 论述上兼顾新老规范的有关规定。对《89抗震规范》,介绍了二次设计的原则与方法,新的场地定义、分类法及新的规范反应谱,不对称多高层建筑须考虑扭转效应的地震力及完全二次方开方组合法(CQC法),时程分析、变形验算及抗震可靠度分析,还介绍了新的关于构造措施的要求等。这些都是读者关心的问题。由于目前按各本新规范进行强度验算的程序尚在编制中,因此本书实例基本上按《78抗震规范》的规定进行,仅对部分实例按《89抗震规范》补充了罕遇大震作用下结构抗倒塌验算。

(3) 除编入一般常用方法外,尽可能纳入业已成熟的最新成果与方法,如设计地震动参数选取方法、高层建筑适宜周期计算公式、剪力墙合理数量的确定、不对称多高层建筑扭转

目 录

第一章 高层建筑结构设计和计算的一般规定

§1-1 引 言	(1)
§1-2 抗震设计基本原则	(1)
§1-3 场地	(2)
§1-4 地基土	(4)
§1-5 地基和基础	(6)
§1-6 建筑平面和竖向布置	(9)
§1-7 剪力墙的布置	(11)
§1-8 高层建筑水平位移的限制	(14)
§1-9 防震缝、沉降缝和伸缩缝	(15)
§1-10 计算的一般规定	(16)

第二章 高层建筑的风荷载及地震荷载

§2-1 引 言	(19)
§2-2 高层建筑的风荷载	(19)
§2-3 高层建筑的水平地震荷载	(24)
§2-4 扭转耦连高层建筑的地震荷载	(29)
§2-5 高层建筑的竖向地震荷载	(30)
§2-6 设计地震动参数的确定方法	(33)
§2-7 荷载组合与强度安全系数	(39)

第三章 平面框架结构

§3-1 引 言	(42)
§3-2 单元分析	(43)
§3-3 整体分析	(45)
§3-4 支承条件的引入	(47)
§3-5 非节点荷载的处理	(48)
§3-6 杆件内力计算	(49)

第四章 多层及高层框架-剪力墙结构空间协同计算

§4-1 引 言	(50)
§4-2 任选竖向参考轴时结构扭转耦连自由振动基本方程	(50)

§4-3	将坐标原点放在质心处的计算方法	(56)
§4-4	斜向抗侧力结构的计算	(60)
§4-5	考虑扭转效应时结构的地震荷载及地震内力计算	(61)
§4-6	扭转效应近似计算方法的讨论	(67)
§4-7	怎样将带孔剪力墙转化成带刚域杆壁式框架	(68)
§4-8	剪力墙剪切形式系数的计算	(69)

第五章 筒体结构

§5-1	引言	(72)
§5-2	框筒结构的受力特性及内力分布	(74)
§5-3	翼缘展开法	(76)
§5-4	横缝裙梁延性框筒	(81)
§5-5	框筒结构设计的若干建议	(83)

第六章 复杂体型高层建筑结构分析

§6-1	引言	(88)
§6-2	多种有限单元	(90)
§6-3	多重子结构分析基本原理和方法	(91)
§6-4	节点位移规格数	(98)
§6-5	节点变形的从主关系	(99)
§6-6	空间杆系-薄壁杆模型	(101)
§6-7	薄壁截面的几何特性	(102)
§6-8	开口薄壁杆件的单元刚度矩阵	(104)
§6-9	坐标转换矩阵	(108)
§6-10	高层建筑结构的总体刚度矩阵和动力分析	(114)
§6-11	薄壁柱内力沿各肢的分配	(116)
§6-12	钢筋混凝土复杂体型高层建筑空间分析方法应用的几个问题	(117)

第七章 用时程分析法设计高层建筑结构

§7-1	引言	(119)
§7-2	时程分析法	(120)
§7-3	用时程分析法进行抗震设计	(125)
§7-4	恢复力特性和结构地震反应	(127)
§7-5	高层建筑框架结构时程分析计算模型	(129)
§7-6	高层框剪和筒体结构时程分析计算模型	(137)
§7-7	输入地震波的选用	(138)
§7-8	结构抗震变形验算	(140)

第八章 结构的抗震可靠度

§8-1	引 言	(145)
§8-2	结构可靠度及其度量	(145)
§8-3	结构抗震可靠度及可靠指标计算	(148)
§8-4	结构抗震承载力的可靠指标	(149)
§8-5	结构截面抗震承载力验算表达式	(150)
§8-6	结构地震变形效应和变形能力的概率统计	(151)
§8-7	结构地震变形可靠度的算例	(153)

第九章 截面设计及构造措施

§9-1	引 言	(156)
§9-2	截面设计原则	(156)
§9-3	梁的设计	(157)
§9-4	柱的设计	(160)
§9-5	梁柱节点设计	(163)
§9-6	剪力墙的设计	(167)
§9-7	墙体的连接构造	(170)
§9-8	楼面的构造要求	(174)

第十章 桩 基

§10-1	引 言	(176)
§10-2	桩基的设计步骤	(177)
§10-3	单桩垂直承载力的确定	(179)
§10-4	单桩水平承载力的确定	(187)
§10-5	桩基验算	(189)
§10-6	桩的设计	(197)
§10-7	承台的设计	(198)
§10-8	桩基的施工	(201)

第十一章 箱形基础

§11-1	引 言	(206)
§11-2	箱形基础的几何尺寸	(207)
§11-3	地基计算	(207)
§11-4	箱形基础结构受力特征	(211)
§11-5	基底反力的计算方法	(213)
§11-6	箱基的结构计算	(220)
§11-7	箱形基础的构造要求	(225)

第十二章 高层建筑结构抗震设计步骤及内容

§12-1	引 言	(228)
§12-2	基本资料与数据	(228)
§12-3	结构初步设计内容及步骤	(230)
§12-4	结构选型	(231)
§12-5	高层建筑适宜的基本自振周期公式	(232)
§12-6	截面尺寸初选及剪力墙布置	(234)
§12-7	结构周期及内力近似计算方法	(239)
§12-8	施工图设计阶段的上机准备	(240)
§12-9	推荐几种常用计算程序	(242)
§12-10	地基与基础	(245)
§12-11	结构薄弱层及弹塑性变形验算	(247)

附 录

附录一	标准贯入试验要点	(249)
附录二	剪力墙数量选用图表	(250)
附录三	框架的近似计算(D值法及分层法)	(254)
附录四	带刚域杆的单元刚度矩阵与固端力公式	(268)
附录五	剪力墙剪切形式系数 μ 值表	(274)
附录六	剪力墙墙肢截面强度的计算公式	(277)
附录七	钢筋混凝土偏心受压圆截面柱计算	(284)
附录八	日本劲性钢筋混凝土构件截面设计	(298)
附录九	钢筋混凝土梁柱及剪力墙屈服强度计算公式	(306)
附录十	有关输入地震波的一些知识	(311)

工 程 实 例

工程实例一	某工程设计地震动参数选取实例	(315)
工程实例二	某十五层综合科研办公楼结构抗震设计实例(扩初阶段)	(320)
工程实例三	北京二十八层国际饭店工程抗震计算	(339)
工程实例四	太原市十九层职工教育中心大楼抗震设计	(348)
工程实例五	南京海关大楼结构抗震设计	(376)
工程实例六	首都宾馆抗震计算	(386)
工程实例七	深圳市二十四层上步购物中心大楼工程实例	(391)
工程实例八	某十七层筒中筒结构工程实例	(402)
工程实例九	凤凰大厦工程实例	(415)
工程实例十	结构弹塑性地震反应计算实例	(425)
工程实例十一	箱形基础设计计算实例	(435)
工程实例十二	某五层(带地下室)框架房屋的抗震设计	(451)
工程实例十三	某二十八层复杂体型住宅楼抗震计算	(457)

第一章 高层建筑设计 and 计算的一般规定

1-1 引 言

几十年来,随着抗震设计水平的提高,地震区的高层建筑最高已达50—60层。许多高层建筑经受了中等烈度乃至高烈度地震的考验,但也有一些高层建筑在地震中遭受破坏。因此,当高层建筑按抗震要求设计时,对建筑物的场地、地基土、基础、结构选型、建筑平面和竖向布置、剪力墙的布置、防震缝、沉降缝和伸缩缝的设置等许多方面的要求比非地震区的高层建筑严格得多,计算原则也有所区别。

地震区高层建筑结构的抗震设计必须遵照我国《工业与民用建筑抗震设计规范(TJ11-78)》(以下简称《78抗震规范》)、《钢筋混凝土高层建筑设计 with 施工规定(TZ102-79)》的各项规定,本章编写中还参考了《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》(以下简称《89抗震规范》)中的一些新内容,如“小震不坏,大震不倒”的基本原则、场地分类、地震动参数的选用、结构延性构造与弹塑性分析、变形验算等。

1-2 抗震设计基本原则

近几十年来结构抗震设计方法的研究与进展,尤其是各国历次大地震对人类造成的严重灾害的经验教训,使世界各国地震工程学者及工程抗震设计人员逐步取得了较为一致的认识,概括地用形象语言来描述,即遵循“小震不坏,大震不倒”的设计原则。这已成为当今世界各国公认的结构抗震设计准则。

对于高层建筑体现这一设计原则尤为重要,其具体要求是:在多发的小中地震作用下,结构应基本保持在弹性阶段工作,结构不经修理就能正常使用;在罕遇的大地震作用下,结构进入塑性状态,允许结构发生相当严重的破坏,但应确保建筑物的整体安全,防止倒塌伤人。

小震、大震在具体设计时以烈度来度量,小震烈度可定义在地震烈度概率密度函数的峰点,物理含义为在基准设计期内出现概率频度较大的地震烈度。研究表明,如以峰值加速度来度量,小震烈度相当于抗震规范中的基本烈度对应的地面峰值加速度乘以结构影响系数 C 的平均值。大震烈度应为罕遇烈度,即小概率事件,在一定使用期内(如50年)其超越概率为2%左右。

本书中,结构在地震作用下作弹性内力分析及截面配筋设计时,采用现行规范弹性地震力乘结构系数 C 予以折减的方法来体现相应的小震作用,用以进行强度验算;对于大震作用,除了采取必要的构造措施外,我们根据近年来对国内近70个城镇地震危险性分析的结果,建议将小震时地震动加速度峰值或地震影响系数 α_{max} 乘以一个倍数来体现,以此进行弹塑性变

形验算，具体按设计烈度区分如下：
7度区 6.25倍； 8度区 5.6倍； 9度区 4.3倍。

1-3 场 地

《78抗震规范》将建筑物的场地按场地土分为 如下 I、II、III类：
I类 稳定岩石；
II类 除 I、III类场地土外的一般稳定土；
III类 饱和松砂、软塑至流塑的轻亚粘土、淤泥和淤泥质土、冲填土以及其他松软的人工填土等；

岩土 的鉴别则按现行《工业与民用建筑工程地质勘察规范》执行。对于应用较多的 II类场地土，包括范围较广，差异较大，而现有谱曲线 II、III两类场地上的地震影响系数相差达2.5倍，因此有必要划分得更细一些。《89 抗震规范》中，场地分类方案除了考虑浅层土的刚度外，同时也在一定程度上考虑了深层土的影响。为此将建筑物的场地，按场地土类别和场地覆盖层厚度分为 I、II、III、IV四类(见表1-1)。

建筑物所在场地的场地类别 表1-1

场 地 土 类 别			场 地 覆 盖 层 厚 度 $d_v(m)$				
分类名称		土的剪切波速 $V_{s,m}(m/s)$	0	0—3	3—9	9—80	>80
坚硬场地土		$V_{s,m}>500$	I	—	—	—	—
中等场 地 土	中 硬	$500\geq V_{s,m}>250$	—	I	I	II	II
	中 软	$250\geq V_{s,m}>140$	—	I	II	II	III
软弱场地土		$V_{s,m}\leq 140$	—	I	II	III	IV

场地土是指场地范围内的浅层地基土(一般埋深15m)。其类别决定于地面下 15m 深度范围内土层平均剪切波速 $V_{s,m}$ ，分为坚硬、中硬、中软、软弱四类。当无剪切波速资料时，可根据岩土状态，按下列规定近似划分：

- (1) 坚硬场地土为稳定岩石，密实的碎石土；
- (2) 中硬场地土为中密、稍密的碎石土，密实中密的砾、粗、中砂，静力基本容许承载力 $f_k>200kPa$ 的粘性土和粉土；
- (3) 中软场地土为稍密的砾、粗、中砂，除松散的粉砂外， $f_k\leq 250kPa$ 的粘性土和粉土， $f_k\geq 130kPa$ 的填土；
- (4) 软弱场地土为淤泥、淤泥质土、松散的砂土、新近沉积粘性土和粉土、 $f_k<130kPa$ 的填土。

震害分析表明，软弱的厚土层在地震作用下对高层建筑结构特别不利，而基岩上建筑的震害在多数情况下是比较轻的。

场地覆盖层厚度是指从地面至坚硬场地土(该土层以下剪切波速均大于500m/s)顶面的距离。1967年委内瑞拉加拉加斯地震的震害调查表明，该城的土层厚度变化很大，不同高度

的房屋在60km以外的一次6.4级地震作用下，其破坏百分率差别很大(图1-1)。据统计，三—五层房屋在9—15m土层上的破坏率比30m以上土层上的大很多倍。五—九层房屋在15—21m厚的土层上的破坏率比其他土层的稍高。十层以上的房屋当土层超过48.6m时破坏百分率明显增大。对1957年美国旧金山地震的强震记录的研究表明，90m以上土层上十层房屋所受的地震剪力 Q_0 约为基岩上的5倍(图1-2)。由此可见，土层厚度对震害的影响是不可忽视的。覆盖层厚度的确定可以根据本地区的工程地质和水文地质资料加以估计。为了减轻建筑物的震害，选择对抗震有利的建筑场地具有很重要的意义。选择建筑场地时，应根据地震活动情况和工程地质资料，对场地作出综合评价，宜选择对建筑抗震有利的地段，避免不利地段，并不得在危险地段布置高层建筑。

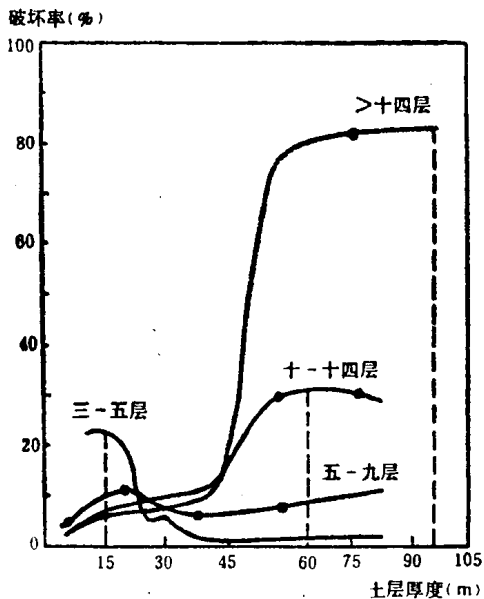


图1-1 1967年加拉加斯地震中结构破坏百分率与场地土层厚度的关系

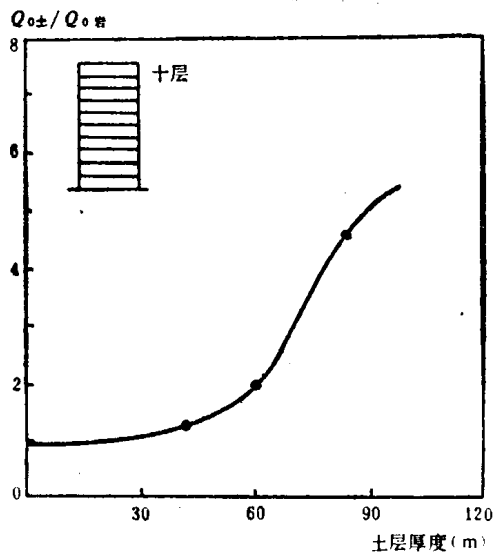


图1-2 1957年旧金山地震中场地土层厚度对十层房屋最大底部剪力的影响
(十层房屋总重力为 $649 \times 10^5 \text{kN}$ ，基本周期1.25s)

对建筑抗震有利的地段，一般指开阔平坦的坚硬场地土或密实均匀的中硬场地土等地段。对建筑抗震不利的地段，一般指软弱场地土、易液化土、条状突出的山脊、高耸孤立的山丘、非岩质的陡坡、采空区、故河道、断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷及半填半挖地基等。对建筑抗震危险的地段，一般指地震时可能发生滑坡、崩塌、地裂、地陷、泥石流等地段以及8度和8度以上的发震断裂带。

建筑物的场地对建筑物的震害有很大的影响。所谓场地影响主要是指建筑场地的地质构造、地形等工程地质条件对建筑物的综合影响。在进行高层建筑的抗震设计时，不但首先应通过调查研究和勘测工作，选择适当的场地，采取相应的措施防止地基因严重的不均匀沉降、局部破坏以至完全失效造成的震害，同时还必须对场地土的性质作出尽量合乎实际的评价，作为上部结构抗震设计的依据。此外，地震区高层建筑的自振周期，宜远离场地卓越周期，以降低地震荷载。本书工程实例四表明，调整结构刚度使其避开场地卓越周期后可取得较好的经济效果。

1-4 地 基 土

我国多次强地震中遭受破坏的数以万计的建筑物中,只有少数房屋是因地基失效而导致上部结构的破坏。这类地基主要为饱和砂土、饱和轻亚粘土和软弱粘性土,还有一些属不均匀地基。大量一般土的天然地基,由于地基破坏而引起建筑物破坏是极少的。如对唐山、海城、通海、邢台等地震区(地震烈度为7度至10度)位于各类场地上的174座水塔震害资料进行的分析、验算结果表明,除液化地基外,尚未发现地基和基础破坏现象,而液化失效的地基占调查总数的4.8%。地基土的液化与否将直接影响高层建筑基础抗震设计方案的确定。

一、砂土液化

饱和砂土地基由于砂土的孔隙中有大量水份,地震时水份不能及时排出,引起孔隙水压力上升使砂土处于离散状态,如同液体一样,致使土丧失承受上部结构荷载能力,这种现象称为液化。饱和砂土地基的主要震害是地基因液化而失效,造成上部建筑物的破坏。当建筑地基(一般考虑在地面下15m深范围内)有饱和砂土或饱和轻亚粘土时,应经过勘察试验判定在地震时是否液化。

1. 液化判别方法

《78抗震规范》对建筑物地基有饱和砂土层或粒径大于0.05mm的颗粒占总重40%以上的饱和轻亚粘土层时,采用标准贯入试验(试验方法见附录一)确定地震时是否可能液化。有经验时,也可采用静力触探、相对密度及其他种类的动力触探等方法鉴定。对地面以下15m范围内深度为 d_s 的饱和砂土,当其标准贯入锤击数 $N_{63.5}$ 值小于式(1-1)算出的 N' 值时,则可认为是可液化砂土:

$$N' = \bar{N}[1 + 0.125(d_s - 3) - 0.05(d_w - 2)] \quad (1-1)$$

式中 N' ——饱和砂土所处深度为 d_s 、室外地面到地下水位距离为 d_w 时的砂土液化临界贯入锤击数;

$\bar{N}$ ——当 $d_s = 3\text{m}$, $d_w = 2\text{m}$ 时,砂土液化临界贯入锤击数:设计烈度为7度、8度、9度时,其数值分别为6, 10, 16;

d_s ——饱和土所处标准贯入点深度(m);

d_w ——地下水位深度(m)。

《78抗震规范》的判别式在1975年海城地震和1976年唐山地震中的应用成功率达85%。但该式是以10m以内的浅层液化资料为依据的,未考虑震级这一重要因素的影响,仅能对某一深度的砂土能否液化作出判别,用于轻亚粘土过于保守,不能给出液化的危险程度,不适用于深层土液化判别,因此不适用于较高的高层建筑。《89抗震规范》对上列方法进行了修改,将液化判别分两步进行。

首先根据烈度、地质年代、上覆非液化土层厚度、地下水位深度和粘粒(粒径小于0.005mm的颗粒)含量等按下列原则进行初步判别:

(1) 地质年代为第四纪晚更新世或其以前时,可判为不液化土;

(2) 粉土的粘粒含量百分率 $p_c(\%)$ 在7度、8度和9度地震区分别不小于10, 13, 16时,可判为不液化土。

(3) 采用天然地基时,年平均最高地下水位深度 d_w 及扣除软弱土层的上覆非液化土层厚

度 d_u 符合表1-2a中的一种条件时,可不考虑液化影响。

可不考虑液化的埋深(m) 表1-2a

条 件	饱 和 砂 土	饱 和 粉 土
1	$d_w \geq I - 1$	$d_w \geq I - 2$
2	$d_u \geq I$	$d_u \geq I - 1$
3	$d_w + d_u \geq 1 + 1.5(I - 1)$	$d_w + d_u \geq 1 + 1.5(I - 2)$

注: I 为烈度,当天然地基上基础埋深 d 超过2m时, d_w 和 d_u 应减去 $(d - 2)$ 再查表判别。

凡初步判定为可能液化的饱和砂土或饱和粉土,应采用标准贯入试验进一步确定其是否液化。

当饱和砂土或饱和粉土实测标准贯入锤击数 $N_{63.5}$ 值小于按式(1-2)算出的 N_{cr} 值时,则判为可液化土,否则为不液化土。

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] \sqrt{\frac{3}{\rho_c}}$$

(1-2)

式中 d_s ——饱和土标准贯入点深度(m);
 d_w ——地下水位深度(m);
 ρ_c ——饱和土的粘粒含量百分率,当 $\rho_c(\%) < 3$ 时,取 $\rho_c = 3$;
 N_{cr} ——饱和土液化临界标准贯入锤击数;
 N_0 ——饱和土液化判别的基准标准贯入锤击数,按表1-2b取值;

N_0 值 表1-2b

烈 度	7 度	8 度	9 度
近 震	6	10	16
远 震	8	12	—

2. 液化等级确定

凡经判定为液化的土层,应按下式计算地基的液化指数 I_{LE} ,并按表1-3确定地基的液化等级,为选择抗液化措施提供依据:

$$I_{LE} = \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{N_i}{N_{cri}} \right) d_i w_i$$

(1-3)

式中 N_i, N_{cri} ——液化土层中第 i 个标准贯入点的实测标准贯入锤击数和按式(1-2)计算的液化临界标准贯入锤击数;
 n ——一个钻孔内液化土层中标准贯入点总数;
 d_i ——第 i 个标准贯入点所代表的液化土层厚度(m),由下列条件之一决定其上下界面(图1-3);
(1) 相邻两个标准贯入点的平均深度;
(2) 地下水位或液化土层的上下界面;
 w_i ——第 i 个标准贯入点深度 d_{si} (m)处权函数的数值(图1-3),按下式计算:
当 $d_{si} < 5$ m时, $w_i = 10$

(1-4)

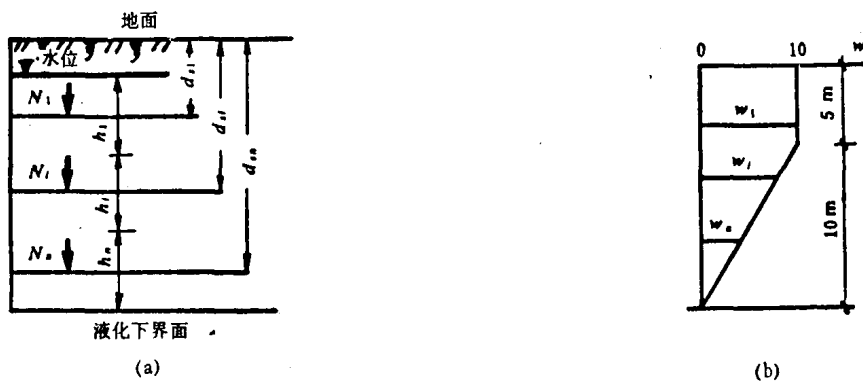


图1-3 液化指数计算图
(a)土层剖面及其位置, (b)权函数图形

当 $d_{s,i} = 5-15\text{m}$ 时, $w_i = 15 - d_{s,i}$ (1-5)

当式(1-3)中的 $\left(1 - \frac{N_i}{N_{cr,i}}\right)$ 为负值时取零。

地基液化等级 表1-3

液化等级	液化指数 I_{LE}	地面喷水冒砂情况	对建筑的危害程度
I (轻微)	0—5	地面无喷水冒砂, 或仅在洼地、河边有零星的喷冒点	危害性小, 一般不致引起明显震害
II (中等)	5—15	喷水冒砂可能性很大, 从轻微到严重均有, 多数属中等喷冒	危害性较大, 可造成不均匀沉降和开裂, 有时不均匀沉降可达200mm
III (严重)	>15	喷水冒砂都很严重, 地面变化很明显	危害性大, 一般可产生大于200mm的不均匀沉降, 高重心结构可能产生不容许的倾斜

在相同地震烈度下, 液化层的厚度越大, 埋置越浅, 地下水位越高, 土层的密度越小, 则液化的危害越大。所求得的 I_{LE} 值基本上反映液化土层层位、密度、级配等方面的影响, 一般液化指数越大, 场地的喷冒和建筑的液化就越严重。

二、软弱性粘土

软弱性粘土地基的主要震害是: 在地震荷载作用下, 地基土可能产生过度的附加变形, 使上部建筑物产生较大的沉降、倾斜和局部损坏。根据地震宏观经验和勘察资料, 地震时地基是否破坏与地基土的强度和地震烈度有一定关系。建筑物地基的主要受力层范围内如有软弱粘性土层, 当设计烈度为7度、8度、9度, 其容许承载力分别小于80kPa, 100kPa和120kPa时, 宜采取适当的抗震措施。

1-5 地基和基础

一、地基抗震

历次地震考察证明, 一般较好的地基土壤都具有较好的抗震性能, 地震中一般不发生失效问题, 不必采取特殊的抗震措施。地震中容易发生问题的地基主要是可液化土和软弱粘土

地基，在设计中必须针对不同情况，采取有效措施，认真加以处理。

1. 可液化砂土地基

一般情况下，高层建筑应避免可液化土层作为天然地基的持力层。如果由于某些原因，建筑物一定要修建在这样的地基上时，必须采取有效的抗液化措施，但要根据液化等级及结构的特点区别对待。

对液化等级属于Ⅰ级的地基，除特别重要的建筑物外，一般不作特殊处理。对液化等级属于Ⅱ级的地基，宜尽量多考虑采用较易实施的结构构造措施，而不一定要加固液化土层。在液化层深厚的情况下，可以采取消除部分液化沉降量的措施，即加固深度不一定达到液化层底，如加固或挖除部分液化土层。对液化等级属于Ⅲ级的地基，宜采取全部消除地基液化沉降的措施，如采用桩基、深基础或深层加固，挖除全部液化土层等。采用桩基时，桩端伸入液化深度以下稳定土层中的长度(不包括桩尖部分)应按计算确定，但对碎石土、砾、粗中砂、坚硬粘性土，此长度不应小于0.5m，对其他非岩石土不应小于2m。采用深基础时，基础底部埋入液化深度以下稳定土层中的长度不应小于0.5—1m。

2. 软弱粘土地基

软弱粘土地基上的建筑物在地震中往往出现超沉、偏沉或不均匀沉降。当建筑地基主要受力层范围内存在软弱粘性土层时，宜采取适当抗震措施：

- (1) 采用桩基或其他人工地基；
- (2) 选择合适的基础埋置深度；
- (3) 减轻基础荷载，调整基础底面积，减小基础偏心；
- (4) 加强基础的整体性和刚性，如采用箱基、筏基或钢筋混凝土十字形、条形基础，加强基础圈梁、基础系梁等。

二、地基抗震强度验算

天然地基的抗震容许承载力可参照现行《工业与民用建筑地基基础设计规范》按下式予以提高：

$$[R]' = \psi [R] \tag{1-6}$$

式中 $[R]'$ ——地基土的抗震容许承载力(kPa)；
 $[R]$ ——按地基规范(容许承载力或静载试验)确定并经基础宽度和埋置深度修正后的地基土静力容许承载力公式算出的地基土静力容许承载力(kPa)；
 ψ ——地基土抗震容许承载力调整系数，按表1-4取值。

地基土抗震容许承载力调整系数 表1-4

岩土名称和状态	ψ 值
岩石，密实的碎石土，密实的砾、粗、中砂，老粘性土， $[R] \geq 300$ 的一般粘性土	1.5
中密、稍密的碎石土，中密、稍密的砾、粗、中砂，密实的细、粉砂， $200 \leq [R] < 300$ 的一般粘性土	1.3
中密、稍密的细、粉砂， $100 \leq [R] < 200$ 的一般粘性土，新近沉积粘性土	1.1
软土，松散的砂，填土	1.0

地震荷载作用下，验算天然地基竖向承载力时，基础底面平均压力和边缘最大压力，应

符合下式要求:

$$p \leq [R]' \quad (1-7)$$

$$p_{\max} \leq 1.2[R]' \quad (1-8)$$

式中 p ——基础底面平均压力;

$p_{\max}$ ——基础底面边缘最大压力;

$[R]'$ ——按式(1-6)求出的地基土抗震容许承载力。

三、基础选型

基础的选型,应根据地质条件、建筑体型、结构类型、荷载情况、有无地下室以及施工条件等,进行综合分析,并考虑经济效果。选型一般可按以下原则:

(1) 框架结构,无地下室,地基较好,荷载较小,柱网分布较均匀时,可选用单独柱基,但纵横方向应用拉梁拉结,拉梁位置以设置在柱根为宜;

(2) 框架或剪力墙结构,当无地下室,地基较差,荷载较大时,为了增强整体性、减小不均匀沉降,可选用十字交叉条形基础;如选用上述基础不能满足变形条件要求,又不宜采用桩基或其它人工地基时,可选用钢筋混凝土筏形基础;

(3) 框架或剪力墙结构,有地下室,无特殊防水要求,柱网、荷载及墙体分布比较均匀,地基较好时,可选用十字交叉刚性墙基础;

(4) 框架或剪力墙结构,有地下室,上部结构对不均匀沉降限制较严,防水要求较高时可选用箱形基础;

(5) 筒体结构,筒体墙无地下室时可选用均布的桩基片筏承台,外框可用桩基,由钢筋混凝土拉梁将各自独立的桩基承台板联成一体。有地下室时,也可选用桩箱复合基础;

(6) 当地基土质很差,采用上述各种类型基础仍不能满足设计要求时,可选用桩基或其它有效人工地基。

四、桩 基

当高层建筑地基主要受力层范围内存在可液化土层或软弱粘性土层时,宜采用桩基。通常采用混凝土灌注桩和钢筋混凝土预制桩。

桩基的布置应保证桩顶受荷均匀,上部结构传给桩顶的荷载重心应与桩身重心或群桩重心相重合。

桩截面的直径(或边长) d 一般不小于20cm,爆扩桩的扩大端直径 D 为 $(2.5-3.5)d$,桩身长度为2.5—7.0m,桩的中心距为 $(1.5-1.8)D$ 。灌注桩桩身长度宜大于2.5m,桩的中心距宜大于 $3d$ 。预制桩桩身长度宜大于3.0m,桩的中心距宜大于 $3d$ 。

爆扩桩和灌注桩的混凝土标号不宜低于150号,预制桩的混凝土标号不宜低于300号。

桩的主筋应按计算确定,预制桩的最小含钢率不宜小于0.8%,灌注桩和爆扩桩的主筋不少于 $4\phi 12$ 。

桩顶嵌入承台内的长度不宜小于5cm,当桩主要承受水平力时不宜小于10cm。

桩基承台的尺寸,除按计算和满足上部结构需要确定外,厚度一般不小于30cm,周边距边桩中心的距离不宜小于桩的直径(或边长)。

桩基承台的配筋,可按计算确定。对于矩形承台上下层水平筋不宜少于 $\phi 8@200$,并应双向配置,钢筋保护层厚度不宜小于5cm。承台混凝土标号不宜低于150号。

五、箱形基础