

中华人民共和国行业标准

高层建筑岩土工程勘察规程

JGJ 72—90

主编单位：机械电子工业部勘察研究院
批准部门：中华人民共和国建设部
中华人民共和国机械电子工业部
施行日期：1991年8月1日

关于发布行业标准《高层建筑岩土工程勘察规程》的通知

建标[1991]87号

根据原机械工业部1986年设总技勘86—1号文的要求，由机械电子工业部勘察研究院主编的《高层建筑岩土工程勘察规程》，业经审查，现批准为行业标准，编号JGJ 72—90，自1991年8月1日起施行。

本标准由建设部归口管理，由机械电子工业部勘察研究院负责解释。本标准由建设部标准定额研究所组织出版发行。

中华人民共和国建设部
中华人民共和国机械电子工业部
1990年12月30日

主 要 符 号

- A ——基础底面积;
 A_p ——桩身的横截面积;
 a ——压缩系数;
 b ——基础底面宽度;
 c ——粘聚力;
 C_c ——土的压缩指数;
 C_u ——土的反弹指数;
 d_c ——控制性勘探点深度;
 d_g ——一般性勘探点深度;
 d ——基础埋置深度或桩身直径;
 E_s ——土的压缩模量;
 E_0 ——土的变形模量;
 e ——孔隙比;
 f ——地基承载力设计值;
 f_0 ——地基承载力基本值;
 f_k ——地基承载力标准值;
 f_u ——由极限承载力公式计算的地基极限承载力;
 f_v ——由控制塑性区公式计算的地基承载力设计值;
 f_s ——双桥静力触探探头侧壁摩擦阻力;
 H_g ——自室外地面算起的建筑物高度;
 L ——建筑物长度;
 l ——桩长度、分段桩长或基础长度;
 p ——基础底面处平均压力设计值;
 p_c ——土的前期固结压力;
 p_0 ——基础底面处的附加压力;
 p_s ——单桥静力触探比贯入阻力;
 p_z ——土的自重压力;
 q_c ——双桥静力触探探头阻力;
 q_p ——桩端土的承载力标准值;
 q_s ——桩周土的摩擦力标准值;
 R_k ——单桩的竖向承载力标准值;
 s ——沉降量;
 T ——场地土的卓越周期;
 u_p ——桩身周边长度;
 v_s ——剪切波波速;
 z_0 ——主要受力层深度;
 α ——桩端阻力修正系数;
 β ——调整系数、折减系数或修正系数;
 γ ——土的重力密度;
 φ ——内摩擦角;
 ψ_s ——沉降计算经验系数。

第一章 总 则

第 1.0.1 条 为了贯彻国家有关技术经济政策, 提高高层建筑岩土工程勘察技术水平, 统一勘察技术标准, 保证建筑物地基的安全和正常使用, 特制定本规程。

第 1.0.2 条 本规程适用于 8 层以上 50 层以下的高层建筑, 高度 50m 以上 100m 以下的次要构筑物 和 100m 以上 300m 以下的高耸构筑物的岩土工程勘察。

第 1.0.3 条 进行高层建筑岩土工程勘察, 必须重视地区经验, 广泛搜集资料, 详细了解设计意图、精心勘察、合理评价, 满足岩土工程设计要求, 并提出技术先进、经济合理、措施可行的地基基础方案和岩土工程勘察报告。

第 1.0.4 条 采用本规程时, 应符合现行国家有关标准规范的规定。

第二章 基 本 规 定

第 2.0.1 条 根据《建筑地基基础设计规范》的安全等级划分原则, 高层建筑的分级按表 2.0.1 确定:

高层建筑安全等级划分标准 表 2.0.1

安全等级	破坏后果	建 筑 物 类 型
一 级	很 严 重	20 层和 20 层以上的高层建筑; 体型复杂的 14 层和 14 层以上的高层建筑; 75m 和 75m 以上的次要构筑物; 150m 和 150m 以上高耸构筑物
二 级	严 重	低于 20 层的高层建筑; 体型复杂的低于 14 层的高层建筑; 低于 75m 的重要构筑物; 低于 150m 的高耸构筑物

第 2.0.2 条 当场地已有勘察资料缺乏, 高层建筑的安安全等级为一级或为高层建筑群时, 其岩土工程勘察应分为初步勘察和详细勘察两阶段进行。初步勘察阶段应对场地和地基的稳定性作出评价, 对地基基础方案的选择进行论证并提出建议; 详细勘察阶段应对场地工程地质条件作出详细评述, 为地基基础设计、地基处理提供经济合理的方案和所需的详细资料。当场地已有资料比较充分, 且系单体的二级高层建筑, 可将两阶段合并为一阶段进行, 但应同时满足两阶段的要求。

高层建筑地基基础施工时, 勘察单位应参与施工验槽, 对场地工程地质条件复杂的地区, 除应参与施工验槽外, 必

要时还应进行施工勘察。

第 2.0.3 条 进行高层建筑岩土工程勘察前,必须详细了解设计意图,并宜取得下列资料:

一、附有建筑物四角座标或轮廓线、室内外地坪标高及原始地形、地物的建筑总平面图;

二、建筑结构类型、特点、层数、总高度、总荷载(有条件时提供荷载组合情况)、地下设施、防水防潮要求等;

三、预计的基础类型、平面尺寸、埋置深度以及其它特殊的地基基础设计施工要求。

第 2.0.4 条 进行勘察前应详细收集和研究场地及其邻近地段的已有勘察资料、已有建筑经验、地震地质资料,以及场地环境历史沿革资料。

第 2.0.5 条 高层建筑岩土工程勘察应解决的主要问题是:

一、判明建筑场地内及其附近有无影响工程稳定性的不良地质现象,如判明全新活动断裂、地裂缝、岩溶(溶洞、溶沟、溶槽等)、滑坡和高陡边坡的稳定性;调查了解有无古河道、暗浜、暗塘、人工洞穴或其它人工地下设施;在强震区应查明有无可液化地层,并对液化可能性作出评价,判明场地土类型和建筑场地类别,提供抗震设计有关参数;

二、查明建筑场地的地层结构、均匀性,尤其应查明基础下软弱地层和坚硬地层的分布,以及各层岩石的物理力学性质;

三、查明地下水类型、埋藏情况、渗透性、腐蚀性以及地下水位的季节性变化幅度;判断基坑开挖降低地下水的可能性和对已有相邻建筑的影响,提供降低地下水位的有关资料,必要时提出降水方案;

四、对适于采用筏式基础或箱形基础等天然地基的高层建筑,应着重查明持力层和主要受力层内土层的分布,对其承载力和变形特性作出评价和预测,提供可采用的承载力并进行变形计算。对地基基础设计方案进行论证分析,提出经济合理的方案,对上部结构和地基基础设计、施工中应注意的问题提出建议。必要时提出深基坑开挖的边坡、支挡方案;

五、对适于采用各类桩、墩基础的高层建筑,应根据场地条件和施工条件,建议经济合理的桩基类型,选择合理的桩尖持力层,并详细查明持力层和软弱下卧层的分布,分层提出桩周摩擦力及持力层的桩端承载力,预估单桩承载力以及群桩视为实体基础时的承载力和沉降验算,对预制桩判断沉桩的可能性和对相邻建筑的影响,推荐合适的施工设备;对灌注桩应推荐合适的施工方法,提出施工中应注意的问题;

六、对于一级高层建筑必须进行沉降观测;对于基础埋深较大或距相邻建筑、管线较近时,应进行基坑回弹、基坑边坡变形或打(压)桩时周围地面隆起、振动影响的监测;若采用浅层和深层地基处理,应进行处理前后的地基对比检验工作。

为解决上述问题的岩土工程勘察工作可以根据实际情况一次或分阶段进行。

第 2.0.6 条 核算地基承载力时,传至基础底面上的荷载效应应按基本组合,土体自重按实际的重力密度计算,核算地基变形时,传至基础底面上的荷载应按长期效应组合,不应计入风荷载和地震作用。

第三章 勘察方案布设

第一节 天然地基

第 3.1.1 条 勘探点的平面布设应考虑建筑物体型、荷载的分布、地层结构和均匀性，尤其应满足评价建筑物横向倾斜的地层均匀性。布设时应符合以下规定：

- 一、每一单体的一级高层建筑，勘探点数量不应少于 6 个，二级高层建筑不应少于 4 个；
- 二、当建筑物平面为矩形时宜按双排布设，为不规则形时，宜按突出部位角点和中心点布设；
- 三、在层数、荷载和建筑物体型变异较大处，宜布置适量勘探点；
- 四、勘探点间距一般为 15~35m，一级高层建筑可取较小值，二级高层建筑可取较大值，为准确查明暗沟、塘、浜等异常带，勘探点间距还可适当加密；
- 五、在岩溶发育地区，勘探点应适当加密，必要时可按每个柱基下布置勘探点；在花岗岩残积土地区，勘探点间距可取本条四款中的较小值；
- 六、为降水设计需要，必要时应布置查明地下水流速、流向和进行水文地质参数测试的专门勘探点；
- 七、控制性勘探点的数量宜为全部勘探点总数的 1/2 以上。

第 3.1.2 条 勘探点的深度应符合以下规定：

一、控制性勘探点的深度应适当大于地基压缩层的计算深度，对于箱形基础或筏式基础，可按下式计算确定：

$$d_c = d + a_0 b \quad (3.1.2-1)$$

式中 d_c ——控制性勘探点深度 (m)；

d ——箱形基础或筏式基础埋置深度 (m)；

a_0 ——与土的压缩性有关的经验系数，根据基础下的

主要土层按表 3.1.2 取值；

b ——箱形基础或筏式基础宽度，对圆形基础或环板

基础，按最大直径考虑，对不规则形状的基础，

按等代于方形、矩形或圆形面积的宽度或直径

考虑 (m)。

二、一般性勘探点的深度应适当大于主要受力层的深

度，对于箱形基础或筏式基础可按下式计算确定：

$$d_g = d + a_0 b \quad (3.1.2-2)$$

式中 d_g ——一般性勘探点的深度 (m)；

a_0 ——与土的压缩性有关的经验系数，根据基础下的

主要土层按表 3.1.2 取值。

经验系数 a_0 、 a_1 值 表 3.1.2

值	别	土 类				
		碎石土	砂 土	粉 土	粘性土 (含黄土)	软 土
a_0		0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.2	1.0~1.5	2.0
a_1		0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.7	0.6~0.9	1.0

注：表中范围值对同一土类中时代老的、密实的或地下水位深者取小值，反之取大值。

三、对于扩展式基础，勘探点的深度，应符合现行《岩

土工勘察规范》详勘阶段的规定；

四、对一般性勘探点，在预定深度范围内有比较稳定的、厚度超过3.0m的坚硬地层（如碎石土）时，可钻入该层适当深度能正确定名并判明其性质即可，对软弱地层应适当加深或予以钻穿；

五、在浅层岩溶发育地区，当基础底面下的土层厚度小于地基压缩层计算深度时，一般性钻孔应深达完整基岩面，控制性钻孔或专门查明溶洞的钻孔应深入完整基岩内3~5m或深入洞底完整基岩内3~5m；

六、在花岗岩残积土地区，当为箱形基础或筏式基础，计算勘探点深度时，其 α_c 和 α_g 系数，对残积砾质粘性土和残积砂质粘性土，可按表3.1.2中粉土的值确定，残积粘性土可按表3.1.2中粘性土的值确定。在预定深度内遇基岩时，控制性孔应深入强风化带（标准贯入试验实测击数大于50击）不少于1.0m，一般性勘探点达强风化岩顶面即可；

七、对需要评价黄土湿陷性、砂土液化、场地卓越周期的钻孔，以及查明地下水渗透性，或其它专门用途的钻孔深度，按有关规范的要求专门确定。

第 3.1.3 条 取土和原位测试勘探点的数量和取土数量应符合下列规定：

- 一、取土和原位测试的勘探点数量不应少于全部勘探点总数的2/3，当需要计算倾斜时，四个角点均应有取土孔；
- 二、每幢建筑物下各主要土层内的取作力学性指标的土样数量和每种测试数据应满足表3.1.3的规定要求；
- 三、为地下室侧墙和基坑边坡稳定性计算或锚杆设计需要，应在基底以上的主要土层内采取不少于6件（组）的土试样。

各主要土层取土和原位测试数量 表 3.1.3

类 别	层 位		
	持 力 层 内	持力层底至 主要受力层底	主要受力层以下
不扰动土样(件·组)	12~18	8~12	6~10
原位测试(次)	8~12	6~10	4~7

注：①主要受力层层底深度(Z_0)，按 $Z_0 = \alpha_g b$ 计算；

②本表中原位测试仅指：十字板剪切试验、横压试验或标准贯入试验；

③对剪力试验，不扰动土样数量为(组)；

④表中数量对一级高层建筑取大值，二级高层建筑取小值。

第二节 桩 基

第 3.2.1 条 本节所指的桩基仅包括常用于高层建筑钢筋混凝土预制桩和各种类型的混凝土灌注桩和墩。

第 3.2.2 条 勘探点平面布设应符合以下规定：

一、对于端承桩、墩或以端承力为主的桩，当系扩展式基础下的桩基时，勘探点应按柱列线布设，其间距应以控制桩端持力层层面和厚度的变化为原则，一般为12~24m；当相邻勘探点所揭露持力层层面坡度超过10%时，宜加密勘探点。

二、对于摩擦桩或以摩擦力为主的桩，以及筏基或箱基下的桩群，勘探点间距可按20~35m考虑，但当土层层面坡度超过10%和土性变化较大时，应适当加密勘探点。

三、大直径（直径 $\geq 800\text{mm}$ ）的桩或扩底墩，当地质条件变化较大时，宜每个桩（墩）位上布置一个勘探点。

四、勘探点总数中应有1/3以上的勘探点为控制性勘探点。

第 3.2.3 条 勘探点的深度应符合以下规定:

一、对于端承桩或以端承力为主的桩(墩),控制性勘探点的深度应深入预计桩尖平面以下 3~5m 或 6~10 倍(大直径桩或墩取小值,小直径桩取大值)桩身宽度或直径,一般性勘探点应深入预计持力层内 1~2m。对于基岩持力层,控制性勘探点的深度应深入微风化带内 3~5m,一般性勘探点深入微风化带 1~2m;遇断层破碎带应予钻穿,进入较完整岩体 3~5m。

二、对摩擦桩或以摩擦力为主的桩,控制性勘探点的深度应超过预计桩长 3~5m,一般性勘探点应超过预计桩长 1~2m;当需计算桩群变形时,可将桩群视为假想的实体基础,控制性勘探点的深度应超过桩尖平面算起的压缩层深度,压缩层深度可按 $(1 \sim 2)b$ (b 为假想的实体基础宽度)考虑,亦可按附加压力与土自重压力之比为 20% 计算,在此深度内遇不可压缩的坚硬地层时,可终止勘探。

第 3.2.4 条 对桩基勘探深度范围内的每一主要土层,应采取土试样和进行静力触探、标准贯入试验、十字板剪力试验等原位测试,每栋建筑物下取土数量和测试次数应满足表 3.2.4 的要求。

各主要土层取土和原位测试数量 表 3-2-4

类 别	层 段		位
	摩 擦	桩 端	
不扰动土样(件、组)	7~12		6~10
原位测试(次)	6~10		4~7

注: ①本表中原位测试仅指,十字板剪切试验、横压试验或标准贯入试验;
②对剪力试验,不扰动土样数量为(组);
③表中数量对一级高层建筑取大值,二级高层建筑取小值。

第四章 原位测试和监测

第 4.0.1 条 为查明地层的均匀性,测求地基土的承载力 and 变形特性,预估单桩承载力,判断沉桩的可能性等,在不含碎石的砂土或粘性土中可作单桥或双桥静力触探。

第 4.0.2 条 为判明砂土或粉土液化的可能性,测求砂土或粉土的承载力可作一定数量的标准贯入试验,且宜选择少量钻孔从上至下按一定间距连续进行贯入试验;为测求粉土、砂土和碎石土的承载力可进行重型或超重型的动力触探试验。

第 4.0.3 条 为测求软土地基的承载力和桩的摩擦力、端承力,可进行十字板剪切试验。

第 4.0.4 条 为测求粘性土、粉土和砂土的承载力和变形模量,可分层进行横压试验。

第 4.0.5 条 为施工降水设计或地下室设计的需要,宜在现场进行适量的井、孔抽水试验或注水试验以测求地层的渗透系数(必要时,水平、垂直渗透系数应分别测定)。需要时还需实测地下水流向和流速。

第 4.0.6 条 为抗震设计确定场地土类型、场地类别、卓越周期以及抗震设计所需其它参数,可进行波速或地震动测试。

第 4.0.7 条 对一级高层建筑,为确定持力层或主要受力层的承载力和变形模量可进行平板载荷试验;当以强、中风化基岩为持力层,不能取试样进行饱和单轴抗压强度试

第五章 室内试验

验,可进行岩体载荷试验,直接确定岩体承载力,其试验要点应符合现行《建筑地基设计规范》的规定。

第 4.0.8 条 对一级高层建筑,其单桩承载力宜采用现场静载荷试验确定,试桩的数量不宜少于 3 根;当水平荷载较大时,应进行水平推力载荷试验,其数量不宜少于 2 根;对于扩底墩的端承力宜采用深井载荷试验确定,试验要点见附录六。对一级高层建筑,有条件时,可进行原型单墩承载力试验。

第 4.0.9 条 为无损检验桩身质量,可采用动测法或其它有效方法,检测桩数不宜少于桩总数的 10%,用动测法确定单桩承载力必须有充分的桩静载荷试验对比资料。

第 4.0.10 条 当基坑开挖较深,面积较大时,宜进行基坑卸荷回弹观测,对高层建筑均应进行沉降观测,观测工作从基础底面施工完成后即应开始,直至沉降稳定为止,沉降观测所使用仪器、观测方法及沉降稳定标准,应符合有关专门规程的要求。

第 4.0.11 条 为考虑基坑开挖,桩基施工或其它地基处理施工等,对相邻已有建筑的影响,应进行边坡位移(或变形)、孔隙水压力变化、打桩振动影响等的监测工作。

第 5.0.1 条 本章仅包括高层建筑岩土工程勘察中特殊性室内试验项目的试验要求,常规试验项目的试验要求,仍按现行有关规范、规程进行。

第 5.0.2 条 为计算地基承载力所需的剪力试验应符合以下规定:

一、所采取土样应注意保持土的原状结构,对于一级高层建筑,地层为粘性土时应采用三轴剪力试验,试验应采用多样法;对于二级高层建筑地层为可塑状态粘性土与饱和度小于 0.5 的粉土时可采用直剪,其数量应符合表 3.1.3 的规定。

二、剪力试验的方法应根据所采用计算方法、施工速率和土的排水条件等来选用,使尽可能符合建筑物实际受力状况。一般情况下对施工速率较快,排水条件差的土可采用不固结不排水剪;对施工速率较慢、排水条件好的土可采用固结不排水剪,但应考虑在建筑物荷载及预压荷载作用下地基可能固结的程度。

三、三轴剪力试验结果应提供摩尔圆及其强度包线。

第 5.0.3 条 为计算地基沉降的压缩性指标,根据不同计算方法,可采用以下试验方法:

一、当用一般单轴压缩试验的压缩模量按分层总和法进行沉降计算时,其最大压力值应超过预计的土自重压力与附加压力之和,压缩系数应取土自重压力至土自重压力与附加

压力之和压力段的压缩系数和相应压缩模量,其值按下式计算:

$$a = 1000 \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} \quad (5.0.2-1)$$

$$E_s = \frac{1 + e_0}{a} \quad (5.0.2-2)$$

式中 a ——压缩系数 (MPa^{-1});

E_s ——压缩模量 (MPa);

p_1 、 p_2 ——分别为土自重压力和自重压力与附加压力之和,按取土深度分段取整值 (kPa);

e_0 、 e_1 、 e_2 ——分别相应于天然状态和 p_1 、 p_2 时的孔隙比。

当需要考虑基坑开挖卸荷再加荷的情况,应进行回弹再压缩试验,垂直荷载应模拟实际加荷卸荷情况,具体数值由试验设计确定。

二、当采用考虑应力历史的固结沉降计算时,试验的最大压力应满足绘制完整的 $e \sim \log p$ 曲线的需要,应加至出现较长的直线段,必要时可加至 $3000 \sim 5000 \text{ kPa}$,以求得先期固结压力 p_c 、压缩指数 C_c 和回弹指数 C_e , p_c 值可按卡式图解法确定。 C_e 值可不进行修正, C_c 值的回弹起始压力可按所取土样的上覆自重压力分深度取整确定,并应注意不要影响 p_c 值的取值。当需考虑沉降速率时,应测定固结系数 C_v 。

第 5.0.4 条 基坑开挖需要采用明沟、井点或管井抽水降低地下水水位时,应进行有关土层的渗透试验,必要时尚应进行现场抽水试验,以满足降水设计需要。

第 5.0.5 条 为验算边坡稳定性和挡墙、锚杆等支护设计所进行的剪力试验,宜采用三轴不固结不排水剪或直剪

快剪。

第 5.0.6 条 当需采用强度指标估算桩承载力或需对群桩进行变形验算时,室内试验应符合以下规定:

一、当需估算桩侧极限摩阻力时,可采用三轴不固结不排水强度 c_u 、 φ_u 值;

二、当需估算桩极限端承力时,对于粘性土可在桩尖持力层和下卧层内测求固结不排水强度 c_{cu} 、 φ_{cu} 或有效应力强度 c'_v 、 φ'_v ;

三、当需进行群桩变形验算时,对桩尖平面以下压缩层范围内的土,应测求土的压缩性指标,即压缩模量、压缩指数、回弹指数等。

洞强烈发育地段,应考虑地基加固措施,经技术经济分析认为不可取时,应另选场地。

第六章 岩土工程评价和计算

第二节 天然地基评价和计算

第一节 场地稳定性评价

第 6.1.1 条 高层建筑场地应该避开浅埋的(埋深不超过100m)全新活动断裂,避开的距离应根据全新活动断裂的等级、规模和性质、地震基本烈度、覆盖层厚度和工程性质等单独研究确定;高层建筑还应避开正在活动的地裂缝通过地段,避开的距离和应采取的措施可按地区性的有关规定确定。

第 6.1.2 条 位于斜坡地段的高层建筑应从以下各点考虑场地稳定性:

- 一、建筑物不应放在滑坡体上;
- 二、位于坡顶或岸边的高层建筑应考虑边坡整体稳定性,必要时应验算整体是否有滑动的可能性;
- 三、当边坡整体是稳定的,还应符合现行《建筑地基基础设计规范》的规定,验算基础外边缘至坡顶的安全距离;

四、考虑高层建筑周围高陡边坡滑塌的可能性,确定建筑物离坡脚的安全距离。

第 6.1.3 条 高层建筑场地不应选择在对建筑抗震的危险地段,应避开对建筑抗震不利的地段,当无法避开不利地段时,应采取防治措施。

第 6.1.4 条 在有塌陷可能的地下采空区,或岩溶土

第 6.2.1 条 高层建筑天然地基评价和计算应根据设计要求 and 实际需要确定,一般包括以下内容:

- 一、分析评价地基的均匀性。
- 二、提供地基承载力基本值(f_0)和标准值(f_k);根据设计要求,核算地基持力层和下卧层承载力能否满足基础底面压力要求,当不能满足要求时,提出变更基础埋深或持力层的意见。
- 三、核算建筑物地基平均沉降是否超过容许值及其差异沉降或倾斜是否满足要求,尤其是高层与低层,新建与原有建筑之间差异沉降的影响。必要时应进行地基与基础或上部结构共同作用的沉降分析。高层建筑和高耸构筑物均以容许倾斜值控制。

四、评价深基坑开挖边坡的稳定性和对相邻建筑的影响,提供应采取的防护措施和有关计算参数,必要时提出锚杆、板桩等支护方案。

五、当地下水位较高时,应评价降水施工的可能性,提供降水设计所需参数,必要时提出降水方案。

六、对地基方案的技术经济合理性作出论证和评价,当不能采用天然地基方案时,应对其它人工地基方案的适宜性作出论证和评价。

第 6.2.2 条 地基均匀性宜从以下几方面进行评价并采取相应措施:

- 一、当地基持力层层面坡度大于10%时,可视为不均匀

地基。此时可加深基础埋深使之超过持力层最低的层面深度，当加深基础不可能时，则可采取垫层等措施加以调整。

二、地基持力层和第一下卧层在基础宽度方向上，地层厚度的差值小于 $0.05b$ （ b 为基础宽度）时，可视为均匀地基；当大于 $0.05b$ 时，应计算横向倾斜是否满足要求，若不能满足应采取结构或地基处理措施。

三、地基土的均匀性以压缩层内各土层的压缩模量为评价依据。

1. 当 $\bar{E}_{s1}$ 、 $\bar{E}_{s2}$ 的平均值小于 10MPa 时，符合下式要求者为均匀地基。

$$\bar{E}_{s1} - \bar{E}_{s2} < \frac{1}{25}(\bar{E}_{s1} + \bar{E}_{s2}) \quad (6.2.2-1)$$

2. 当 $\bar{E}_{s1}$ 、 $\bar{E}_{s2}$ 的平均值大于 10MPa 时，符合下式要求者为均匀地基。

$$\bar{E}_{s1} - \bar{E}_{s2} < \frac{1}{20}(\bar{E}_{s1} + \bar{E}_{s2}) \quad (6.2.2-2)$$

式中 $\bar{E}_{s1}$ 、 $\bar{E}_{s2}$ ——分别为基础宽度方向两个钻孔中，压缩层范围内压缩模量按厚度的加权平均值（ MPa ），取大者为 $\bar{E}_{s1}$ ，小者为 $\bar{E}_{s2}$ 。

当不能满足式（6.2.2-1）或（6.2.2-2）要求时，属不均匀地基，应进行横向倾斜验算，采取结构或地基处理措施。

第 6.2.3 条 地基承载力的评定应以同时满足极限稳定和不超过容许变形为原则。应结合当地建筑经验采用载荷试验、理论公式计算及其它原位测试方法综合确定。理论公式计算时，可取下述两公式的低值。

一、极限承载力可按下式计算：

$$f_u = \frac{1}{2} N_r \xi_r b \gamma + N_q \xi_q \gamma_0 d + N_c \xi_c c_k \quad (6.2.3-1)$$

式中 f_u ——极限承载力（ kPa ）；

N_r 、 N_q 、 N_c ——承载力系数，根据基础底面以下土的内摩擦角标准值 φ_k 查附录一确定；

ξ_r 、 ξ_q 、 ξ_c ——基础形状系数，按表6.2.3-1确定。

b 、 l ——分别为基础（包括箱形基础或筏基）底面宽度和长度（ m ）；

γ 、 γ_0 ——分别为基底以下和基底以上土的平均重度，地下水位以下取浮重度（ kN/m^3 ）；

d ——基础埋置深度，一般自室外地面算起。在填方整平地区，可自填土地面算起，但填土在上部结构施工后完成时，应从天然地面算起。对于地下室，如采用箱形基础或筏基时，基础埋置深度自室外地面算起，在其它情况下，应从室内地面算起；

c_k ——基底下持力层内粘聚力标准值（ kPa ）；

基础形状系数 表 6.2.3-1

基础形式	ξ_r	ξ_q	ξ_c
条形	1.00	1.00	1.00
矩形	$1 - 0.4 \frac{b}{l}$	$1 + \frac{b}{l} \tan \varphi$	$1 + \frac{b}{l} \frac{N_q}{N_c}$
圆形和方形	0.60	$1 + \tan \varphi$	$1 + \frac{N_q}{N_c}$

地基承载力设计值 f ，按极限承载力 f_u 除以安全系数 K 求得， K 值根据建筑的重要程度、破坏后果的严重性、试验数

据的可信度等因素,在 $K=2\sim 3$ 范围内选取。

二、地基承载力还可按下式计算:

$$f_v = k_r(M_b\gamma k_b b + M_d\gamma_0 d + M_c C_k) \quad (6.2.3-2)$$

式中 f_v ——由控制塑性区公式计算的地基承载力设计值 (kPa);

M_b, M_d, M_c ——承载力系数,根据基础底面以下土的内摩擦角标准值,按表6.2.3-2确定;

承载力系数 M_b, M_d, M_c 表 6.2.3-2

土的内摩擦角标准值 φ_k (°)	M_b	M_d	M_c
0	0	1.00	3.14
2	0.03	1.12	3.32
4	0.06	1.25	3.51
6	0.10	1.39	3.71
8	0.14	1.55	3.93
10	0.18	1.73	4.17
12	0.23	1.94	4.42
14	0.29	2.17	4.69
16	0.36	2.43	5.00
18	0.43	2.72	5.31
20	0.51	3.06	5.66
22	0.61	3.44	6.04
24	0.80	3.87	6.45
26	1.10	4.37	6.90
28	1.40	4.93	7.40
30	1.90	5.59	7.95
32	2.60	6.35	8.55
34	3.40	7.21	9.22
36	4.20	8.25	9.97
38	5.00	9.44	10.80
40	5.80	10.84	11.73

k_r ——结构刚度系数,根据建筑物长高比 L/H_g 按表6.2.3-3确定;

k_b ——系数,当 $b < 10\text{m}$ 时,取 $k_b = 1$; 当 $b \geq 10\text{m}$ 时,取 $k_b = \frac{8}{b} + 0.2$,

其余符号同前。

结构刚度系数 k_r 表 6.2.3-3

k_r L/H_g	土 类	碎石土和 砾、粗、 中 砂	细砂、粉砂	粉土和粘性土	
				$I_L \leq 0.25$	$I_L > 0.25$
≥ 4		1.2	1.1	1.0	1.0
≤ 1.5		1.3	1.2	1.1	1.0

注: H_g ——为自室外地面起算的建筑物高度(m)(不包括突出屋面的电梯间、水箱间等局部附属建筑);
 L ——建筑物长度(m)
当 L/H_g 在 $1.5\sim 4$ 之间时, k_r 采用插入法。

第 6.2.4 条 对于一般粘性土、粉土、饱和黄土和软土可利用下列分层总和法计算最终沉降量。

$$s = \psi_s s' = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{s,i}} (z_i - z_{i-1} \overline{\alpha_{i-1}}) \quad (6.2.4-1)$$

式中 s ——地基最终沉降量 (mm);

s' ——按分层总和法计算出的地基沉降量 (mm);

ψ_s ——沉降计算经验系数,有地区经验时,按地区经验确定,无地区经验时,可参照表 6.2.4-1 确定。

大基沉降计算经验系数 ψ 表 6.2.4-1

$\bar{E}_s$ (MPa)	3.0	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	20.0
ψ	1.8	1.20	0.80	0.60	0.45	0.35	0.25

$\bar{E}_s$ ——基础底面下压缩层范围内地基综合压缩模量值 (MPa), 按下式计算:

$$\bar{E}_s = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{E_{s_i}}} \quad (6.2.4-2)$$

A_i ——基底第 i 层土的应力分布面积;
 n ——地基变形计算深度范围内所划分的土层数;
 p_0 ——相应于荷载标准值时的基础底面处的附加压力 (kPa);

E_{s_i} ——基础底面下第 i 层土的压缩模量, 按土的自重压力至土的自重压力与附加压力之和段取值 (MPa);

z_i, z_{i-1} ——基础底面至第 i 层和第 $i-1$ 层底面的距离 (m);

$\bar{\alpha}_i, \bar{\alpha}_{i-1}$ ——基础底面计算点至第 i 层和第 $i-1$ 层底面范围内平均附加压力系数, 可按附录二采用。

地基沉降计算深度 z_n , 应符合下式要求:

$$\Delta s'_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta s'_i \quad (6.2.4-3)$$

式中 $\Delta s'_i$ ——在计算深度范围内, 第 i 层土的沉降计算值;

$\Delta s'_n$ ——在由计算深度向上取厚度为 Δz 的土层的沉降计算值, Δz 按表 6.2.4-2 确定。

Δz 值 表 6.2.4-2

b (m)	$4 < b \leq 8$	$8 < b \leq 15$	$15 < b \leq 30$	$b > 30$
Δz (m)	0.8	1.0	1.2	1.5

但对于开挖面积和深度较大的箱形基础和筏式基础, 按上式计算的最终沉降量, 还应考虑基坑开挖引起的回弹再压缩量。

第 6.2.5 条 对于一般粘性土、粉土、软土和饱和黄土, 当需考虑应力固结历史时, 可用地基固结沉降法计算最终沉降量。

一、利用室内高压固结试验绘制 $e-\log p$ 曲线;
 二、根据前期固结压力 p_c 与土自重压力 p_z 的比值超固结比 (OCR) 确定土的固结状态。当 $OCR > 1$ 为超固结土, 当 $OCR \approx 1$ 为正常固结土, 当 $OCR < 1$ 为欠固结土;
 三、超固结土沉降计算分两种情况:

1. 当 $p_{z_i} + p_{0_i} \leq p_{c_i}$ 时, 用回弹指数 C_e 计算, 若地基压缩深度内有 m 层土属此类情况, 则可按下式计算:

$$s_m = \sum_{i=1}^m \frac{h_i}{1 + e_{0_i}} \left[C_{e_i} \log \left(\frac{p_{z_i} + p_{0_i}}{p_{z_i}} \right) \right] \quad (6.2.5-1)$$

式中 s_m —— m 层范围内的沉降量 (mm);

h_i ——第 i 层分层厚度 (mm);

e_{0_i} ——第 i 层初始孔隙比;

C_{e_i}, C_{c_i} ——分别为第 i 层的回弹指数和压缩指数;

p_{z_i} ——第 i 层土自重压力平均值 (kPa);

p_{0_i} ——相应于荷载标准值时第 i 层附加压力平均值

(kPa);

 p_{ci} ——第 i 层土前期固结压力 (kPa)。

2. 当 $p_{zi} + p_{oi} > p_{ci}$ 时, 分两段考虑, p_{ci} 值以前用 C_c , p_{ci} 值以后用 C_{ci} , 若地基压缩层深度内有 n 层土属此情况, 则可按下式计算:

$$s_n = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{1+e_{oi}} \left[C_{ci} \log \frac{p_{ci}}{p_{zi}} + C_{ci} \log \left(\frac{p_{zi} + p_{oi}}{p_{ci}} \right) \right] \quad (6.2.5-2)$$

式中 s_n —— n 层范围内沉降量 (mm)。

3. 地基压缩层范围内有上述两种情况的土层, 则其总沉降量为上述两部分之和, 即:

$$s = s_m + s_n \quad (6.2.5-3)$$

式中 s ——压缩层范围内总沉降量 (mm)。

四、正常固结土的沉降量 s (mm) 可按下式计算:

$$s = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{1+e_{oi}} \left[C_{ci} \log \left(\frac{p_{zi} + p_{oi}}{p_{zi}} \right) \right] \quad (6.2.5-4)$$

五、欠固结土的沉降量 s (mm) 可按下式计算:

$$s = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{1+e_{oi}} \left[C_{ci} \log \left(\frac{p_{zi} + p_{oi}}{p_{ci}} \right) \right] \quad (6.2.5-5)$$

六、按以上公式计算沉降时, 地基压缩层深度, 对于粉土、一般粘性土和饱和黄土, 自基础底面算起, 算到附加压力等于土自重压力 20% 处, 对于软土算到附加压力等于自重压力 10% 处, 若有相邻建筑, 附加压力应考虑其影响。

第 6.2.6 条 对于大型刚性基础下的一般粘性土、软土、饱和黄土和不能准确取得压缩模量值的地基土, 如碎石

土、砂土、粉土和花岗岩残积土等, 可利用变形模量按下式计算沉降量。

$$s = pb\eta \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{E_{oi}} \quad (6.2.6-1)$$

式中 s ——沉降量 (mm);

p ——相应于荷载标准值时基础底面处平均压力 (kPa);

b ——基础底面宽度 (m);

δ_i ——与 l/b 有关的无因次系数, 可查附录三附表 6 确定;

E_{oi} ——基础底面下第 i 层土按载荷试验求得的变形模量 (MPa);

η ——修正系数, 可查表 6.2.6-1 确定;

z_n ——地基压缩层深度 (m)。

表 6.2.6-1

$m = \frac{2z_n}{b}$	η 系 数 表				
	$0 < m \leq 0.5$	$0.5 < m \leq 1$	$1 < m \leq 2$	$2 < m \leq 3$	$3 < m \leq 5$
η	1.00	0.95	0.90	0.80	0.75
					0.70

按上式计算沉降时, 地基压缩层深度 z_n 按下式计算确定:

$$z_n = (z_m + \xi b) \beta \quad (6.2.6-2)$$

式中 z_m ——与基础长宽比有关的经验值 (m), 按表 6.2.6-2 确定;

ξ ——系数, 按表 6.2.6-2 确定;

β ——调整系数, 按表 6.2.6-3 确定。

表 6.2.6-2 z_m 值和 ξ 系数表

l/b	1	2	3	4	5
z_m	11.6	12.4	12.5	12.7	13.2
ξ	0.42	0.49	0.53	0.60	0.62

表 6.2.6-3 β 系数表

土 类	碎石土	砂 土	粉 土	粘性土	软 土
β	0.30	0.50	0.60	0.75	1.00

对于一般粘性土、软土和饱和黄土当未进行载荷试验时, 可用反算综合变形模量 $\bar{E}_0$ 按下式计算沉降量。

$$s = \frac{pb\eta}{\bar{E}_0} \sum_{i=1}^n (\delta_i - \delta_{i-1}) \quad (6.2.6-3)$$

式中 $\bar{E}_0$ ——根据实测沉降反算的综合变形模量 (MPa), 按下式求得:

$$\bar{E}_0 = \alpha \bar{E}_s \quad (6.2.6-4)$$

α ——反算综合变形模量 $\bar{E}_0$ 与综合压缩模量 $\bar{E}_s$ 。(按式 6.2.4-2 计算) 的比值, 可按下表选用。

表 6.2.6-4 比值 α 表

$\bar{E}_s$ (MPa)	3.0	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	20.0
$\alpha = \frac{\bar{E}_0}{\bar{E}_s}$	1.0	1.6	2.6	3.6	4.6	5.6	7.6

第 6.2.7 条 由地基不均匀引起的倾斜可按各角点的

钻孔柱状图和物理力学指标, 分别按基础中心点计算沉降, 然后乘以与实测沉降对比所取得的经验系数以获得各角点处的沉降值, 据此近似计算出基础倾斜值。

第 6.2.8 条 高层建筑物和高耸构筑物地基容许变形按表 6.2.8 规定确定。

地基容许变形值 表 6.2.8

基 础 的 容 许 倾 斜		高 耸 构 筑 物	
高 层 建 筑 物		高 层 建 筑 物	高 耸 构 筑 物
$24 < H_s \leq 60$	0.003	$50 < H_s \leq 100$	0.005
$60 < H_s \leq 100$	0.002	$100 < H_s \leq 150$	0.004
$H_s > 100$	0.0015	$150 < H_s \leq 200$	0.003
		$200 < H_s \leq 250$	0.002
基础的容许沉降量 (mm)			
		高 层 构 筑 物	
		$H_s \leq 100$	(200), 400
		$100 < H_s \leq 200$	300
		$200 < H_s \leq 250$	200

注: ① 高层建筑物大基础的容许沉降量按使用要求由设计确定, 软土地区最终平均沉降计算值不宜大于 350mm;
② 有括号者仅适用于中压缩性土。

第 6.2.9 条 抗震设防烈度等于或大于 6 度的地区应符合现行《建筑抗震设计规范》的规定, 划分场地土类型和建筑场地类别, 确定场地的特征周期。

第三节 桩基评价和计算

第 6.3.1 条 本节适用于高层建筑的打入或压入的钢筋混凝土预制桩 (简称预制桩)、预应力钢筋混凝土桩 (简

称预应力桩)和沉管灌注桩等排土桩以及就地浇灌的冲、钻、挖孔混凝土灌注桩、扩底墩等不排土桩。桩型的选择应根据工程性质、工程地质条件、施工条件、环境和经济分析等因素综合考虑确定。一般可按下述原则选择桩型:

一、当持力层层面起伏不大,环境条件允许,可采用预制桩;当荷载较大,桩较长或需穿越一定厚度的坚硬土层,需要较重的锤和锤击应力较大时可采用预应力桩;对一级高层建筑,经技术经济分析认为可行时可采用钢管桩;当有施工经验时可采用沉管灌注桩。

二、当持力层起伏较大、预制桩桩长不易控制,或紧贴原有建筑,场地周围环境复杂时,可采用就地灌注桩或扩底墩。

第 6.3.2 条 选择桩基持力层应符合以下规定:

一、作为持力层宜选择层位稳定的硬塑~坚硬状态的压缩性粘性土和粉土层,中密以上的砂土和碎石层,微、中风化的基岩;

二、第四系土层作为桩尖持力层其厚度宜超过6~10倍桩身直径或桩身宽度;扩底墩的持力层厚度宜超过2倍墩底直径;

三、持力层以下没有软弱地层和可液化地层。当不可避免持力层下的软弱地层时,应从持力层的整体强度及变形要求考虑,保证持力层有足够厚度;

四、对于打(压)入桩,应考虑桩能穿过持力层以上各土层顺利进入持力层的可能性。

第 6.3.3 条 单桩竖向承载力,在勘察期间,当没有进行桩静载荷试验时,可以通过半经验公式和静力触探资料进行估算,但应与附近场地的试桩资料或地区经验进行比较

后提出,对于一级高层建筑,应通过现场静载荷试验确定。

第 6.3.4 条 预制桩可按下式估算单桩竖向承载力:

$$R_k = q_p A_p + u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i \quad (6.3.4)$$

式中 R_k ——单桩的竖向承载力标准值(kN);

q_p ——桩端土的承载力标准值(kPa),可按地区性经验确定,亦可按附录四采用;

A_p ——桩身横截面积(m^2);

u_p ——桩身周边长度(m);

q_{si} ——第*i*层土的摩擦力标准值(kPa),可按地区性经验确定,亦可按附录四采用;

l_i ——按土层划分,第*i*层土的分段桩长(m)。

第 6.3.5 条 预制桩单桩承载力亦可用静力触探公式估算:

一、按单桥探头 p_s 值估算单桩竖向承载力,本公式适用于沿海软土地区。

$$R_k = \frac{1}{K} (a_b p_{ab} A_p + u_p \sum f_i l_i) \quad (6.3.5-1)$$

式中 K ——安全系数,一般取2,也可根据经验作适当调整;

a_b ——桩端阻力修正系数,按表6.3.5-1取用;

p_{ab} ——桩端附近的静力触探比贯入阻力平均值(kPa)

按下式计算:

$$\text{当 } p_{ab1} \leq p_{ab2} \text{ 时, } p_{ab} = \frac{p_{ab1} + p_{ab2}}{2}$$

$$\text{当 } p_{ab1} > p_{ab2} \text{ 时, } p_{ab} = p_{ab2}$$

p_{ab1} ——桩端全断面以上8倍桩径范围内的比贯入阻力平均值(kPa);