

复合地基处理 及其工程实例

牛志荣 李 宏 穆建春 编著
谢耀岗 郭永东

中国建材工业出版社

复合地基处理及其工程实例

牛志荣 李 宏 穆建春 谢耀岗 郭永东 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

复合地基处理及其工程实例/牛志荣等编著. 北京: 中国建材工业出版社, 2000.9
ISBN 7-80159-007-4

I. 复… II. 牛… III. 地基处理 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 31950 号

内 容 提 要

全书共分十章, 除第一章为地基土的工程勘察外, 其余九章均为目前国内较为常用的地基处理方法。它们是: 垫层法、强夯法、土桩和灰土桩、石灰桩、砂桩、碎石桩、水泥粉煤灰碎石桩 (CFG 桩)、深层搅拌法和高压旋喷注浆法。书中针对各种地基处理方法详细阐明了其加固原理、设计计算和施工方法、处理效果检验及工程质量验收, 还吸收了岩土工程领域较新的科研成果, 力求在内容上体现实用性和先进性。对每一种地基处理方法, 还给出了较多的工程实例, 以便设计、施工时参考。

本书可供土建专业和从事工程勘察、设计、施工、监理以及其他工程管理人员使用, 也可作为土建专业学生的参考书。

复合地基处理及其工程实例

牛志荣 李宏 穆建春 谢耀岗 郭永东 编著

*

中国建材工业出版社出版

(北京海淀区三里河路 11 号 邮编 100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京丽源印刷厂印刷

*

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 40.375 字数: 1033 千字

2000 年 10 月第一版 2000 年 10 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 73.00 元

ISBN7-80159-007-4/TU·006

前 言

我国幅员辽阔，各地的地理环境和土质各异，地理条件和土质区域性极强，因而给从事岩土工程领域的同行们提出了许多新的课题。随着国民经济建设的迅猛发展，不仅事先要选择地质条件良好的场地，而且有时也不得不在条件不好的地段进行建设。因此，首先需对场地进行岩土工程勘察和测试，另外，还需对天然的不良地基进行处理或加固。

岩土工程勘察是岩土工程的基础，是通过各种测试技术和有关计算技术等方法，结合工程设计的特殊技术要求和场址的工程地质条件与环境工程地质条件，以及施工开挖、支护、降水等特殊要求，提出对岩土体的论证和评价，并指导岩土工程的设计和施工。

地基加固的目的是指提高软弱地基的强度，保证地基的稳定性；降低不良地基的压缩性，减少基础的沉降尤其是不均匀沉降；防止地基受到振动作用时产生液化现象；消除湿陷性土的湿陷性和胀缩性土的胀缩性等。

目前国内外地基处理的方法很多，且在不断发展中。每一种地基处理方法都有其各自的适用范围和一定的局限性，经人们不断实践、认识、总结和提高，一大批新的科研成果在工程建设中得到了推广应用，一些较为成熟的通常的地基处理方法得到了进一步发展，不少新的处理方法出现并在技术上日渐成熟，有些已进入了实用阶段。

为了更好地为国民经济建设服务，本书针对各种地基处理方法阐明其加固原理、设计计算和施工方法、处理效果检验及工程质量验收，还吸收了岩土工程领域较新的科研成果，力求在内容上体现实用性和先进性。

全书共分十章，除第一章为地基土的工程勘察外，其余九章均为目前国内较为常用的地基处理方法。它们是：垫层法、强夯法、土桩和灰土桩、石灰桩、砂桩、碎石桩、水泥粉煤灰碎石桩（CFG 桩）、深层搅拌法和高压旋喷注浆法。对每一种地基处理，还给出了较多的工程实例，以便设计、施工时参考。

本书由牛志荣、李宏、穆建春、谢耀岗和郭永东合作完成。其中，第四章、第五章、第八章和第十章由牛志荣编写，第九章由李宏编写，第三章和第七章由穆建春编写，第一章和第六章由谢耀岗编写，第二章由郭永东编写。

由于作者水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2000 年 6 月

第一章 地基土的工程勘察

岩土工程勘察是基本建设程序中的一个重要环节。工程勘察的目的在于查明建筑物场地和评价其地质条件,为项目决策、设计、施工、监理提供所需的地基勘察资料,使建筑物的基础设计能适应地基情况,并作为基础施工、监理工作重要的参考依据。勘察成果的好坏直接关系到工程建设的经济效益、环境效益和社会效益。

§ 1.1 岩土工程勘察的主要任务及基本要求

地基土的工程地质评价应在工程地质测绘、勘探、测试和搜集已有资料的基础上,结合工程特点和要求进行,主要完成下列任务:

1. 调查场地的地形、地貌特征,地貌成因类型及地貌单元的划分。
2. 对于地基土要查明地层成层的条件及其性质、成因类型、时代、厚度、分布范围和风化程度。着重区分新近沉积粘性土、特殊性土的分布范围及其工程地质特征。在理论、方法和经验上,要充分做到工程地质学、土力学与岩体力学相结合,定性定量相结合。
3. 评价场地的稳定性和适宜性。应查明大的断裂构造的位置关系、规模、力学特性、场地和地基利用的关系,活动性及其与区域和当地地震活动的关系;在强震作用下场地与地基岩土内可能产生的不利地震效应,如饱和砂土液化、松软土震陷、斜坡坍塌、采空区地面塌陷等;滑坡与不稳定斜坡的存在及其可能的危害程度;地基土内岩溶作用的程度及其对地基可靠度的影响;人为或天然因素引起的地面沉陷、挠折、破裂或坍塌的存在及其危害等。

在工程实践中,必须做到勘察与设计、施工密切配合协作,力求技术可靠与经济合理的统一;岩土条件与建设要求的统一。在岩土工程稳定性计算中宜用两种以上的可能方案进行比较,通常取其安全系数小的一种方案作为安全控制。为避免保守,可与当地的实际工程经验对照以进行必要的修正。

4. 对地基处理设计提供场地地层结构和地下水空间分布的几何参数(即潜水和承压水层的分布,水位、水质、含水层之间的水力关系,获得必要的渗透系数等水文地质计算参数)和岩土体工程性状的设计参数。

采用各项岩土参数时,应注意岩土体材料的非均匀性和各向异性,参数与原型岩土体性状之间的差异及其随工程环境不同而可能产生的变异。测定岩土性质时宜通过不同的测试手段综合验证。

5. 预测拟建工程对现有工程的影响,工程建设产生的环境变化以及环境变化对工程的影响。

6. 确定地基承载力,对建筑物和构筑物的沉降与整体倾斜进行必要的分析、预测,在工程分析的基础上,提出地基基础设计方案比较和建议,包括对重要的地基基础施工措施提出建议。

7. 预测施工过程中可能出现的岩土工程问题,并提出相应的防治措施和合理的施工方法。

8. 理论依据不足、实践经验不多的工程,可根据现场模型试验和足尺试验进行分析评价。需要时可根据施工监测,建议调整和修改设计、施工方案。

§ 1.2 岩土工程勘察分级

岩土工程勘察等级应根据工程安全等级、场地等级和地基等级综合分析确定,表 1.2.1 是岩土工程勘察等级划分表。

表 1.2.1 岩土工程勘察等级划分表

勘察等级	确定勘察等级的条件		
	建筑物安全等级	场地等级	地基等级
一 级	一 级	任 意	任 意
	二 级	一 级 任 意	任 意 一 级
二 级	二 级	二 级	二级或三级
		三 级	二 级
	三 级	一 级	任 意
		任 意 二 级	一 级 二 级
三 级	二 级	三 级	三 级
	三 级	二 级	三 级
		三 级	二级或三级

1.2.1 房屋建筑物和构筑物的安全等级

可按《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)的规定执行,可按表 1.2.2 划分建筑物安全等级。

表 1.2.2 建筑物安全等级

安全等级	破坏后果	工 程 类 型
一 级	很严重	重要的工业与民用建筑;20层以上的高层建筑;体型复杂的14层以上高层建筑;对地基变形有特殊要求的建筑物;单桩承受的荷载在4000kN以上的建筑物
二 级	严 重	一般的工业与民用建筑
三 级	不严重	次要的建筑物

注:(1) 电站、港口、铁路、公路、桥梁、水利、矿山等工程,遵照有关相应的规范执行。

(2) 大型沉井和沉箱;大于30m的超长桩基和墩基;有特殊要求的精密设备和超高压设备;有特殊要求的深基坑开挖和支护工程;大型竖井和平洞;大型基础托换和补强工程;高层差异大或荷载差异大的相邻基础工程;具有重大意义和影响的国家重点工程项目;其它难度大、破坏后果严重的工程,均列为一 级建筑物安全等级。

(3) 公共建筑,如大型剧院、体育场、公共集会的楼堂馆所、医院、学校、大型的饭店和娱乐场所、没有特殊要求的工业厂房、纪念性或艺术性建筑物等属于二级建筑物安全等级。

(4) 符合二级岩土工程勘察的条件,但是,工作对象属于附属性或补充性的建筑物属三级建筑物安全等级。

1.2.2 场地等级

场地等级应根据场地的复杂程度分为三级:

一、符合下列条件之一者为一级场地

1. 对建筑抗震危险的地段：场地处于抗震设防烈度大于或等于 9 度的强震区，需详细判定有无大面积地震液化、地表断裂、崩塌、滑移及产生其它高震害异常的可能性；

2. 不良地质现象强烈发育：泥石流沟谷、雪崩地区、洪泛区、岩溶发育区、古滑坡区、地下水强烈潜蚀或侵蚀区、地表水岸边强烈冲刷堆积区、多年冻土区的冻融带、崩塌、土洞、塌陷等极不稳定的场地；

3. 地质环境已经受到或可能受到强烈破坏：指地下浅层采空、地面沉降、横跨地裂缝、因蓄水而沼泽化、化学污染、水位上升等，包括人为因素和自然因素，不良地质环境已对工程的安全构成直接威胁的场地；

4. 地形地貌复杂的场地。

二、符合下列条件之一者为二级场地

1. 对建筑抗震不利的地段：抗震设防烈度为 7~8 度的地震区且需进行小区划的场地。

2. 不良地质现象一般发育：有如一级场地的不良地质条件，但发育不十分强烈，对工程安全的影响不严重。

3. 地质环境已经受到或可能受到一般破坏：有如一级场地的地质环境条件，但不强烈，对工程安全的影响不严重。

4. 无建筑经验或在特定条件下不可能获得所需资料的场地；虽有建筑经验，但具有失败的岩土工程先例或涉及到整体稳定性问题而有待进一步查证的场地。

5. 地形地貌较复杂。山区、丘陵地带的一般场地，处于不同地貌单元交界的场地。

三、符合下列条件之一者为三级场地

1. 抗震设防烈度等于或小于 6 度，或对建筑抗震有利的场地；

2. 不良地质现象不发育；

3. 地质环境基本未受破坏：无特殊的动力地质环境的影响；

4. 地形地貌简单：地形地貌条件均一，地层结构简单；

5. 邻近场地已有建筑经验，且地形地质条件相似。

1.2.3 地基等级

地基等级应根据地基的复杂程度分为三级：

一、符合下列条件之一者为一级地基

1. 岩土种类多，性质变化大，地下水对工程影响大，极软弱的或非均匀地基需作特殊处理，如新近吹填土、大面积杂填土、旧河道填土、牛轭湖或内陆湖相软土等。

2. 多年冻土、自重湿陷性黄土、三级非自重湿陷性黄土、三级膨胀土、盐渍土、污染严重的特殊性岩土、极不稳定的地基，如戈壁滩的松砂、旧河漫滩的堆积层、季节性冻土层、强烈崩解性土、分解中的风化岩等。

二、符合下列条件之一者为二级地基

1. 岩土种类较多，性质变化较大，地下水对工程有不利影响。

2. 除一级地基规定以外的特殊性岩土。虽然存在一级岩土工程勘察的各项条件，但已成功的建筑经验可以借鉴，且需进行地基土的补充性验证工作。

三、符合下列条件之一者为三级地基

1. 岩土种类单一，性质变化不大，地下水对工程无影响。

2. 无特殊性土或虽属特殊性土，但近旁的地基土资料可供利用或借鉴。

§ 1.3 岩土工程勘察阶段

岩土工程勘察阶段一般要与设计阶段相适应，通常可分为可行性研究勘察阶段（场址选择勘察）、初步勘察、详细勘察（和施工勘察）阶段。实践中，对已有较充分的工程地质资料或工程成功经验的条件，可适当简化勘察阶段或简化勘察工作的内容，以为设计提供充分而有效的数据为原则。

1.3.1 可行性研究勘察阶段

可行性研究勘察阶段，应对拟建场地的稳定性和适宜性作出评价，具体工作内容如下：

1. 搜集区域地质、构造、地层、地形地貌、地震、矿产和附近地区的工程地质资料和当地的建筑经验。

2. 在搜集和分析已有资料的基础上，通过现场踏勘，了解场地的地层、构造、岩土性质、不良地质现象及地下水的埋深、水位等情况。

3. 对工程地质条件复杂，已有的勘察资料不能满足要求，但其它方面条件较好且倾向于选取的场地时，应根据具体情况进行工程地质测绘和必要的勘察工作。

在选择建筑物场地时，在工程地质条件方面，宜避开下列地段或地区：

1. 不良地质现象发育。如邻近有大的、疑有活动性断层、不稳定斜坡区或滑坡、山洪、泥石流威胁区、岩溶作用发育区、地面有大面积采空区等，对场地稳定性有直接或潜在的威胁。

2. 地基土性质严重不良的地段。如厚度大、分布广的强烈自重湿陷性黄土，欠固结土、正常固结或超固结程度很低的软土，高胀缩性土或饱和松砂存在的地段。

3. 对建筑抗震不利的地段。如地震烈度为8~9度的发震断裂带，或设计烈度为7~9度而有埋藏较浅、厚度较大、分布较广、可能液化的饱和松砂土等。

4. 洪水或地下水对建筑场地有严重不良影响的地段。

5. 地下有未开采的有价值的矿藏或未稳定的地下采空区。

1.3.2 初步勘察阶段

初步勘察应在已选定的场址内，根据初步设计或扩大初步设计所提出的方案及建筑区范围的地形图，对建筑场地内各不相同建筑地段的稳定性和地基上岩土技术条件作出岩土工程评价，为确定建筑总平面布置，选择不良地质现象的防治对策及可能采取的建筑地基基础设计措施和方案进行论证。

一、凡有下列情况之一者，需进行初步勘察

1. 建筑场地周围从未做过地质勘察，也没有建筑资料可供借鉴的场地；对地质和水文地质情况完全不了解的区域。

2. 场地的地质构造复杂。

3. 属于大规模、重要的工程项目。

4. 建、构筑物对地基不均匀沉降敏感性较高的工程。

二、初步勘察应做下列工作

1. 搜集本项目可行性研究阶段岩土工程勘察报告，取得建筑区范围内的地形图及有关工程地质、建设规模等文件资料。

2. 初步查明地层、构造，岩土物理力学性质，地下水埋藏条件，冻结深度。

3. 查明不良地质现象的成因、分布及其对场地稳定性的影响和发展趋势,当场地条件较复杂时,应进行工程地质测绘与调查。

4. 对抗震设防烈度大于或等于 7 度的场地,应初步判定场地和地基的地震效应。

三、初步勘察勘探点、线的布置

初步勘察应在搜集分析已有资料的基础上,根据需要进行工程地质测绘或调查以及勘探、测试和物探工作。

1. 勘探点、线、网的布置应符合下列要求

(1) 勘探线应垂直地貌单元边界线、地质构造线及地层界线。

(2) 应按勘探线确定勘探点,并在每个地貌单元及其交接部位布设勘探点,在地貌和地层变化较大的地段,勘探点应予以加密。

(3) 在地形平坦、地层分布简单的地域,可按方格网布设勘探点。

2. 勘探点、线的间距,可根据岩土工程勘察等级按表 1.3.1 确定。

表 1.3.1 勘探线、点间距

岩土工程勘察等级	线 距 (m)	点 距 (m)
一 级	50~100	30~50
二 级	75~150	40~100
三 级	150~300	75~200

3. 初步勘察勘探孔

初步勘察的勘探孔分为控制孔和一般孔两种。通过前者可掌握场地地层结构的总貌,包括对可能与建筑总平面布置和基础设计方案的论证有关的较深的地层及它们的岩土技术条件的必要了解。控制勘探孔宜占勘探孔总数的 $1/5 \sim 1/3$,且每个地貌单元或每幢重要建筑物均应有控制性勘探孔。勘探孔深度可按表 1.3.2 确定。

表 1.3.2 勘探孔深度

岩土工程勘察等级 \ 勘探孔类别	一般性勘探孔 (m)	控制性勘探孔 (m)
一 级	≥ 15	≥ 30
二 级	8~15	15~30
三 级	≤ 8	≤ 15

注:(1) 勘探孔包括钻孔、探井、铲孔及原位测试孔;

(2) 进行波速测试、旁压试验、长期观测等钻孔除外。

当遇到下列情况之一时,应适当增减勘探孔深度:

(1) 当场地地形高差起伏较大时,应根据预测的整平地面标高调整孔深。

(2) 在预定深度内遇基岩时,除控制孔应钻入基岩适当深度,如 3~5m 或微风化岩,其它勘探孔在确认达到基岩后即可终孔。

(3) 当预计基础埋深以下有厚度超过 3~5m 且分布均匀的坚实土层(如碎石、老堆积土等)时,其下又无软弱下卧层时,除部分或全部控制孔应达到预定深度外,其它勘探孔进入该层适当深度为止。

(4) 在预定深度内有软弱土层存在时,其层底在预定深度以下时,勘探孔深度应适当加

大或予以钻穿。

4. 初步勘探的土、水试样及原位测试要求

(1) 取土试样和进行原位测试的孔、井宜在平面上大致均匀布置，其数量可占勘探孔总数的 $1/4 \sim 1/2$ ，但要注意在地质条件变化较大处适当加密。

(2) 取土试样或原位测试的数量和竖向间距应按地层特点和土的均匀程度确定，每层土均应取有试样测试数据或原位测试数据，其中的主要土层或厚度虽不大但对地基基础设计可能会有较大影响土层的试样或测试数据的数量，对于每个地质单元层（岩土技术层）应不少于 6 个。

(3) 应调查地下水类型，补给和排水条件，实测地下水位，如场地不同部位的潜水和各承压水层的水位，并初步确定其变化幅度，必要时应设长期观测孔，还应测求渗透系数等计算参数。

(4) 当地下水有可能浸没或浸湿基础时，应选取有代表性的水试样进行腐蚀性分析（见 § 1.7）。水试样的数量和分布要按场地工程条件划分为区、段和工程地质单元层的需要考虑，其取样地点不宜少于 2 处。

1.3.3 详细勘察阶段

详细勘察阶段应密切结合技术设计或施工图设计，在总平面布置的基础上，按不同的建筑物和建筑群提出详细的岩土工程资料和设计所需的岩土技术参数，对建筑物按单体和群体作出岩土工程分析评价，为基础设计、地基处理、基坑开挖、工程地质环境条件的保护与对建筑物不良地质现象的防治等具体方案进行论证并提出结论与建议。

一、有下列情况之一者可只做一个阶段详细勘察

1. 建设项目规模较小，且地质复杂程度属简单的地区。
2. 邻近已有地质勘察资料可供参考或有地质普查资料的城市和地区。
3. 只需在施工图设计阶段应用工程勘察资料的工程。

二、详细勘察阶段应做的主要工作

1. 取得有坐标和地形的建筑总平面布置图；了解各建筑物的地面整平标高；建筑物的性质、规模、荷载特性、结构特点、有关的功能要求以及可能采取的基础型式、尺寸、预计埋置深度、有关地基基础设计的特殊要求；地下设施情况；总荷载或单位荷载估计值、单桩的预估承载力；建筑物对沉降控制的要求等。

2. 通过详细的勘探与测试，查明不良地质现象的成因、类型、结构、发育程度、发展趋势及危害程度，并提出评价与整治所需的岩土技术措施和整治方案建议。

3. 查明建筑物或建筑群范围内的地层结构；各土层的类别、厚度、坡度、成分及岩土技术性质所需的岩土技术参数；计算和评价地基的稳定性和承载力。

4. 对一级建筑物和部分二级建筑物，即需进行沉降计算的建筑物，提供地基变形计算参数；预测建筑物的沉降、沉降差和整体倾斜。变形计算参数和沉降预测计算方法的选择要考虑到地基土层的特性，还应搜集、参与当地已有建筑物的沉降观测数据等建筑经验。沉降计算宜用两种或两种以上方法进行比较。

5. 对抗震设防烈度大于或等于 6 度的场地，应划分场地土类型和场地类别；对抗震设防烈度大于或等于 7 度的场地，应分析预测地震效应，判定饱和砂土或饱和粉土的地震液化并计算液化指数，软土、松散砂类土、碎石类土、大孔隙结构的黄土等的震陷危险等。

6. 查明地下水的埋藏条件、水位等,当基坑降水时应查明水位变化幅度与规律,提供地基的渗透性参数等。

7. 判定环境水及土对建筑材料和金属的腐蚀性。

8. 判定地基土及地下水在建筑施工和使用期间可能出现的影响和变化,提出供降水设计等所需的岩土技术参数。

9. 对深基坑开挖和降水深度很大的工程项目,提供开挖、支护设计;坑底降起破坏危险评价所需的岩土技术参数,同时还应注意到进行深基坑开挖引起的坑壁与支护构件的变形与位移,卸压引起的坑底与四周地面的不均匀回弹和由于降水致使地层的有效自重应力增大而导致的均匀下沉等对邻近已有建筑物的影响,并提出有关建议。

10. 当采用的人工地基为桩基时,应提供桩基方案的选择,桩的类型、尺寸和桩底持力层的确定的建议,对单桩承载力、桩群沉降的计算及施工方法的选定进行分析论证,并提供必需的岩土工程参数和岩土技术措施建议。

三、详细勘察的勘探点的布置

详细勘察的勘探点的布置应按岩土工程勘察等级确定,并应符合下列规定:

1. 对安全等级为一级、二级的建筑物宜按主要柱列线或建筑物的周边线布置勘探点;对三级建筑物可按建筑群的范围布置勘探点。

2. 对重大设备基础应单独布置勘探点;对重大的动力机器基础,勘探点不宜少于3点。

3. 在复杂地质条件或特殊岩土地区应布置适量的探井;在地基土为填土、湿陷性黄土、膨胀土、大碎石类土、污染土、混合土、风化岩残积土、盐渍土等特殊土时或当建筑物地基范围内与紧邻处有岩溶、地裂缝、断层破碎带等需要详细探查、圈定范围时,探井的数量应占较大比重。

4. 对占地面积虽小但荷载大或重心高的高耸构筑物,应专门设置必要数量的勘探点,一般情况下,不宜少于3个勘探点。

四、详细勘察的勘探点间距,按表 1.3.3 确定

表 1.3.3 勘探点间距

岩土工程勘察等级	间 距 (m)
一 级	15~35
二 级	25~45
三 级	40~65

五、详细勘察勘探孔深度的确定

详细勘察阶段的勘探孔深度是由建筑物的荷载、结构特点、岩土层的岩土技术性质、拟采取的基础设计或地基处理方案及整平和开挖要求等因素决定。勘探孔的深度自基础底面算起,其值应符合下列规定:

1. 当只按承载力计算地基时,勘探孔深度的确定以能控制住地基主要持力层为原则,如当基础底面宽度 b 不大于5m时,勘探孔深度对条形基础一般可为 $3b$,单独柱基应为 $1.5b$,但不应小于5m。

2. 大型设备基础勘探孔深度不宜小于 $2\sim 3b$ 。

3. 对除承载力计算之外的需进行变形计算的地基,控制性勘探孔的深度应超过地基沉降计算深度,并考虑相邻基础的影响。当需要了解建筑物沉降计算深度以下的地层结构时,如

当考虑桩尖支承于深部不可压缩的地层或基岩时，控制性勘探孔可按需要加深，且不受表 1.3.4 的限制。

表 1.3.4 控制性勘探孔深度

基础底面宽度 b (m) 或圆形基础直径 d (m)	勘 探 孔 深 (m)		
	软 土	一般粘性土、粉土及砂土	老堆积土、密实砂土及碎石土
$(d) b \leq 5$	$3.5b$	$3.0 \sim 3.5b$	$3.0b$
$5 < b \leq 10$	$2.5 \sim 3.5b$	$2.0 \sim 3.0b$	$1.5 \sim 3.0b$
$10 < b \leq 20$	$2.0 \sim 2.5b$	$1.5 \sim 2.0b$	$1.0 \sim 1.5b$
$20 < b \leq 40$	$1.5 \sim 2.0b$	$1.2 \sim 1.5b$	$0.8 \sim 1.0b$
$b > 40$	$1.3 \sim 1.5b$	$1.0 \sim 1.2b$	$0.6 \sim 0.8b$

注：表内数据适用于均匀地质，当地基为多层土时可根据表列数据予以调整。

4. 当有大面积地面堆载或软弱下卧层时，应适当加深勘探孔深度。

六、详细勘察阶段取样和测试要求

1. 取土试样和进行原位测试的孔（井）数量要按地基的均匀性、建筑物的特点和设计方面的特殊要求等综合确定，通常宜占勘探孔总数的 $1/2 \sim 2/3$ ，对安全等级为一级的建筑物，每幢不得少于 3 个。在某些特殊条件下的工程项目，如独立的高耸构筑物、独立墩台支承的线状构筑物或勘探孔数不大的单幢重要建筑物，全部勘探孔可为取土孔和进行原位测试的孔。

2. 取土试样和进行原位测试点的竖向间距，在地基主要受力层内为 $1 \sim 2\text{m}$ ，但对每一工程地质单元层或每幢独立的一级建筑物下的每一主要受力土层的原状土试样不应少于 6 件，同一种类土层的孔内原位测试数据（如标准贯入试验锤击数 $N_{63.5}$ 或双桥静力触探试验的数据即锤尖阻力 q_c 和侧壁摩阻力 p_s ）不得少于 6 组。

3. 在地基主要持力层内厚度大于 50cm 的夹层或透镜体应采取土试样测试或进行孔内原位测试。

4. 由于土质不均匀或结构松散等原因，难以取到质量等级符合要求的试样时，可采取相应的一种或多种原位测试方法确定岩土技术性质参数。为了准确确定这类土的承载力和变形计算参数，必要时可进行静载试验。

1.3.4 施工勘察阶段

施工勘察或施工阶段的岩土工程技术工作，一般包括与设计、施工单位，监理单位相结合进行的地基验槽、桩基工程或地基处理、加固的质量与效果检验、基坑开挖、降水、支护结构及土体的位移、变形等的监测，随建筑荷载的增加而进行的沉降和变形观测，必要的补充性勘探测试以及为地基基础设计的调整、变更提供所需的岩土工程资料等。

当遇到下列情况之一时，应配合设计、施工单位进行施工勘察：

1. 对安全等级为一、二级建筑物应进行施工验槽。
2. 当基槽开挖后，岩土工程条件与原勘察资料不相符合时，应进行施工勘察。
3. 在地基处理和深基坑开挖施工中，应进行必要的检验和监测工作。
4. 地基中发现有土洞或溶洞较大发育或施工中出现边坡失稳危险等不利情况时，应查明原因，进行必要的检测并提出处理建议。

§ 1.4 高层建筑勘探

自改革开放以来,我国高层建筑的数量、种类日新月异,其中有不少质量和功能已达到较高水平。在深圳、上海浦东等大中城市有很多高度超过100m的高层建筑。

高层建筑的特点很多,但从岩土工程的角度来看有以下特点:

1. 荷载大。通常一幢高层建筑的总重可达数万吨至数十万吨,高层建筑的竖向荷载随建筑物层数和高度的增加而增加。一般情况下,层数每增加一层,基底总压力就增加10~15kPa,或高度每增加1m,基底总压力就增加4~6kPa。高层建筑的水平荷载主要是风荷载和地震荷载。水平荷载对基础会产生偏心应力。

2. 基础深度大。由于高层建筑的基础埋深较大,随之就带来了深基坑的开挖、边坡稳定性、支护、降水、基坑卸载回弹和变形问题,地下室防水以及降水、支护对相邻建筑物的影响等。

3. 变形大。高层建筑的高度大、重心高,对稳定性特别是整体倾斜的要求就十分严格。同时,常伴随有高层主楼部分和低层裙楼部分的沉降差问题等。

1.4.1 高层建筑对岩土工程勘察的要求

由于高层建筑有上述特点,故对岩土工程勘察自然会有一些专门的要求,这些要求可归纳为勘探点的平面布设、深度及取样要求,原位测试要求等。

一、高层建筑详细勘察勘探点的布设原则

勘探点的平面布设应根据建筑物的体型、荷载大小、地层结构和均匀性等因素综合确定。勘探点的布置除满足1.3.3中相关内容以外,还应满足以下要求:

1. 勘探点应按建筑物周边线布置,角点和中心点应有勘探点。当建筑物平面为矩形时,可按双排布孔,当建筑物平面为不规则形状时,宜在突出部的角点和中心点布设。

2. 勘探点的布设应满足纵横方向对地层结构和均匀性评价,其间距宜取15~35m,复杂场地可取小值,简单场地可取大值。对预期要采用桩基础的高层建筑,一般要求间距为10~30m,相邻勘探点的持力层层面高差不应超过1~2m。当层面高差或岩土性质变化较大时,应适当加密。当岩土条件复杂时,每个大口径的桩或墩应布设一个勘探点。对单柱荷载特别大的基础,常要求每柱有一个勘探点。控制性勘探孔的数量应控制在全部勘探孔总数的1/2以上。

3. 高层建筑群可共用勘探点或按网格布点以适应建筑总图的变化。

4. 特殊体型的建筑物应按其体型变化布设勘探点,在层数、荷载和建筑体型变化较大处应布设适量勘探点。

5. 单幢高层建筑的钻探点数量不应少于4个,其中控制性勘探孔不宜少于3个。

6. 对软土地区等特殊土地地区的勘探应参照有关专门规范要求执行。

二、高层建筑勘探孔深度的确定原则

高层建筑的地基基础设计要求较之一般建筑物更详细。准确的了解地层结构,掌握其特性这不仅是计算承载力、沉降,预估倾斜的需要,也是基础类型选择与设计的需要,同时还是深基坑开挖、支护设计和施工的需要。因此,勘探孔深度应以压缩层下限为控制依据,但不是决定勘探孔深度的惟一依据。为了选择适宜的桩基持力层和桩长,需要把足够深度的地层掌握清楚,有些时候,后者是主要考虑的因素。

以下是高层建筑勘探孔深度的确定原则：

1. 当采用箱基或筏片基础时，控制性勘探孔深度应大于压缩层的下限，一般性勘探孔应能控制主要受力层。其二者可按式确定：

$$z = h + ab \quad (1.4.1)$$

式中 z ——勘探孔深度 (m)；

h ——箱基或筏基的埋深 (m)；

b ——基础底面宽度 (m)，对圆形或环形基础按最大直径考虑，对形状不规则的基础可按等代于方形、矩形或圆形面积的宽度或直径考虑，对于多边形基础可按 $b =$

$$2\sqrt{\frac{A}{\pi}} \text{ 考虑 (A 为基础面积)；}$$

a ——与压缩层深度有关的经验系数，可按表 1.4.1 取值。

表 1.4.1 经验系数 a

土的类别 勘探孔类别	碎石土	砂 土	粉 土	粘性土 (含黄土)	软 土
控制孔	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.2	1.0~1.5	2.0
一般孔	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.7	0.6~0.9	1.0

注：当土的堆积年代老、密实或在地下水位以上时，表中 a 取小值，反之取大值。

2. 在花岗岩残积土地区，如为箱基或筏基时，计算勘探点深度时，对残砾质粘性土和废积砂质粘性土， a 值可按表 1.4.1 中粉土的值取用；残积粘性土的 a 值可按表 1.4.1 中粘性土的值取用。在预计深度内遇基岩时，控制孔应深入强风化带（标准贯入试验实测击数大于 50 击）不少于 50cm，一般性勘探孔达到强风化带顶面即可。

3. 当采用桩基础或墩基础时，当需要计算沉降时，应取勘探孔总数的 $1/3 \sim 1/2$ 作为控制性孔，其深度应达到压缩层深度或在桩尖下取基础底面宽度的 $1.0 \sim 1.5$ 倍。当在该深度范围内遇到坚硬岩土层时，视为不可压缩层，可终止勘探。对一般性勘探孔深度宜进入持力层 $3 \sim 5$ m，着重查清持力层顶板起伏、岩土性状均匀程度和厚度变化特征即可，对大口径桩或墩，其勘探孔深度应达到桩尖下桩径的 3 倍。在软土地区一般性勘探孔深度达桩尖下 $3 \sim 5$ m。

4. 高层建筑的详细勘察应判明深基坑的稳定性及其对相邻工程的影响，并应提出设计计算需要的岩土技术参数和支护方案建议。由于高层建筑的基坑深度往往较大，因而不仅有施工降水问题，也有对降水可能引起的地面沉降的预测和坑底下承压水造成坑底隆起破坏的预防等问题。为此在钻探中应仔细划分透水层，确定各层的位置、厚度、颗粒成分、水位及不同透水层间的水力联系情况等，并要通过试验提供各透水层，特别是包括潜水在内的上部各透水层的水文地质参数，如渗透系数 k 等。必要时应进行抽水试验等水文地质测试。

三、高层建筑详细勘察取土样及原位测试要求

1. 取土样和原位测试勘探孔的数量不应少于全部勘探孔总数的 $2/3$ 。且每幢单体建筑不宜少于 3 个。当需要计算横向倾斜时，四个角点均应有取土孔。

2. 每幢建筑物下各主要土层内的取作力学指标的土试样数量和每种测试数据应满足表 1.4.2 的规定。

3. 为地下室侧墙和基坑边坡稳定性计算或为锚杆设计需要，应在基底以上的主要土层内采取不少于 3 件的土试样进行力学性质试验。

表 1.4.2 各主要土层取土和原位测试数量

土样类别	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)	12~18	8~12	5~10
原位测试 (次)	8~12	6~10	4~7

注: (1) 主要受力层层底深度 z_0 , $z_0 = ab$, 经验系数 a 按表 1.4.1 中的一般孔计算。

(2) 表中原位测试仅指: 十字板剪切试验、旁压试验和标准贯入试验。

四、高层建筑详细勘察室内土工试验的要求

为高层建筑地基计算和评价所进行的室内试验有其特有的要求, 除作一般常规土工试验外, 重点应作剪力试验和固结试验。

1. 当采用分层总和法并用压缩模量计算沉降时, 固结试验的最大压力应大于预计的有效土自重压力与附加压力之和。压缩系数和压缩模量的计算应取自土的有效自重压力和附加压力之和的压力段。计算公式如下:

$$a = 1000 \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} \quad (1.4.2)$$

$$E_s = \frac{1 + e_1}{a} \quad (1.4.3)$$

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 (kPa);

e_1 、 e_2 ——分别相应于 p_1 、 p_2 时土的孔隙比 (图 1.4.1)。

2. 当需考虑深基坑开挖卸载和再加载影响时, 应进行回弹再压缩试验。可模拟工程的实际受力状态进行试验, 即先加荷至所取深度的自重应力, 以模拟恢复原有土试样的应力状态, 然后开始卸载, 使卸载压力相当于开挖土重所减小的附加应力, 再分级加荷至土自重压力与附加压力之和段。用取样深度的自重压力至基坑开挖卸荷土重的压力段 (ab 段), 算得的回弹模量计算回弹量; 取卸荷土重的压力至土自重压力段 (bc 段), 可算得的回弹再压缩模量供计算回弹再压缩量。

$$a_e = \frac{\Delta e_1}{p_z} \times 1000 \quad (1.4.4)$$

$$a_a = \frac{\Delta e_2}{p_z} \times 1000 \quad (1.4.5)$$

$$E_e = \frac{1 + e_z}{a_e} \quad (1.4.6)$$

$$E_a = \frac{1 + e_z}{a_a} \quad (1.4.7)$$

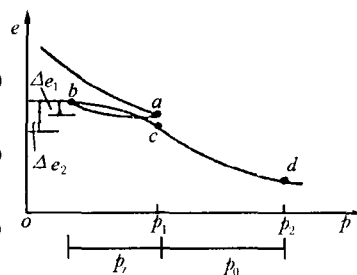


图 1.4.1 模量计算示意图

式中 a_e 、 a_a ——分别为回弹系数、回弹再压缩系数 (MPa^{-1});

E_e 、 E_a ——分别为回弹模量、回弹再压缩模量 (MPa);

p_z ——基坑开挖处卸荷土自重应力 (kPa);

e_z ——基坑开挖卸载后土的孔隙比。

3. 当用固结应力历史法计算沉降时, 应进行高压固结试验, 即要求在固结试验中逐级加压至很高的最终压力, 以 $e-\log p$ 曲线的形式整理实验数据, 最大压力一般应加至 3000~5000kPa, 求出代表土曾受过的最大历史压力的前期固结压力值 p_c , 并进而提供 p_c 以前的回

弹再压缩指数 C_e ， p_c 以后的初次压缩指数 C_c 以及最终的回弹指数 C_s 。 p_c 值可按卡氏图解法确定。这样做有可能对超固结土按 $e-\log p$ 曲线的回弹再压缩和初次压缩两段分别计算沉降并加以累计。为了消除或部分消除对土样的扰动、取土后应力释放的影响，还要求在试验进展到刚超过预期的前期固结压力之后进行一次卸载和再压缩回环，然后再将试验进行完毕。这个卸荷再压缩回环的斜率，即回弹再压缩指数 C_s ，要比未进行回环前小得多，因而用它计算的再压缩沉降一般较为实际。 C_e 值的卸荷回弹压力以所取土试样的自重压力处开始，这是考虑取土后应力释放，在室内重新恢复其原始受力状态。

4. 当地基内有高压缩性土层且需预测建筑物的沉降历时关系时，应在计算深度内选取适量土试样，分别按预期的总有效应力状态确定其固结系数 C_v ，利用 C_v 除对建筑物的沉降历时进程进行预测外，还可将预测与实际监测结果相比较。

5. 当需要验算深基坑边坡稳定或进行边坡支护设计时，应区别土的种类、支护结构类型（如：地下室作挡土墙设计，锚杆设计等）等不同条件选择试验方法，确定有效应力（三轴排水剪或直剪的慢剪）或总应力抗剪强度（一般宜做三轴不固结不排水剪或直剪的快剪）参数或二者均测。

6. 为进行地基承载力计算而进行的剪切试验数量不宜少于 6 组。持力层内应采用三轴试验，下卧层内也宜用三轴，但也可用直剪。剪切试验的方法应根据所采用的计算、施工加载速率和土的排水固结条件等选用。当加载速率较快时，以采用不排水剪（快剪）为宜，但对于排水条件差的饱和软粘土、粘土、粉质粘土等，固结排水历时很长，加载速率很快时，一般来不及达到固结就会剪损，这时，宜采用不固结不排水剪（UU）。反之，当加载速率较慢时，地基土排水条件好，实际工程中有充分的时间固结，这种情况宜采用固结不排水剪（CU）。对于需要采取降水或预压加固时，为了验算施工结束时短期的地基承载力，也可根据施工结束时可能达到的固结度采用相应固结度下的固结不排水剪。

7. 当需计算桩侧摩阻力时，可采用不固结不排水剪；当需估算桩的极限承载力时，可采用固结不排水剪。

1.4.2 高层建筑地基承载力计算和评价

在高层建筑的岩土工程设计、计算时，地基承载力是地基土的一个十分重要的性能指标。地基承载力的正确选取和评价，是保证地基基础设计正确、合理的重要条件。地基承载力应同时满足地基土的强度条件和对沉降、倾斜的限制要求。根据地基土的成因类型、土层的均匀性、地下水位变动、应力历史、加载特点等因素，按下列规定确定：

（1）对一级建筑物应采用理论公式计算结合原位测试方法综合确定，并宜用现场载荷试验验证。

（2）对需进行变形计算的二级建筑物，可按理论公式计算并结合原位测试方法确定。

（3）对于表 1.4.3 中已列出的不需进行变形计算的二级建筑物，可按现行国家标准中的承载力表结合原位测试的方法确定。

（4）对三级建筑物可按现行《建筑地基基础设计规范》（GBJ 7-89）中提供的承载力表或邻近建筑物的经验确定。

表 1.4.3 可不作地基变形计算的二级建筑物范围

地基主要 受力层情况	地基承载力标准值 f_k (kPa)		$60 \leq f_k$ < 80	$80 \leq f_k$ < 100	$100 \leq f_k$ < 130	$130 \leq f_k$ < 160	$160 \leq f_k$ < 200	$200 \leq f_k$ < 300	
	各土层坡度 (%)		≤ 5	≤ 5	≤ 10	≤ 10	≤ 10		
建筑类型	砌体承载结构、框架结构(层数)		≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 6	≤ 6	≤ 7	
	单层排架结构 6m 柱距	单跨	吊车额定起重量(t)	5~10	10~15	15~20	20~30	30~50	50~100
			厂房跨度(m)	≤ 12	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30
		多跨	吊车额定起重量(t)	3~5	5~10	10~15	15~20	20~30	30~75
			厂房跨度(m)	≤ 12	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30
	烟 囱		高度(m)	≤ 30	≤ 40	≤ 50	≤ 75		≤ 100
	水 塔	高度(m)	≤ 15	≤ 20	≤ 30	≤ 30		≤ 30	
		容积(m ³)	≤ 50	50~100	100~200	200~300	300~500	500~1000	

注：(1) 地基主要受力层系指条形基础底面下深度为 $3b$ (b 为基础底面宽度)，独立基础下为 $1.5b$ ，且厚度均不小于 $5m$ 的范围（二层以下一般的民用建筑除外）；

(2) 地基主要受力层如有承载力标准值小于 $130kPa$ 的土层时，表中砌体承重结构的设计，应符合《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89) 第七章的要求；

(3) 表中砌体承重结构和框架结构均指民用建筑，对于工业建筑可按厂房高度、荷载情况折合成与其相当的民用建筑层数；

(4) 表中吊车额定起重量、烟囱高度和水塔容积的数值系指最大值。

一、根据现行的《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)，地基承载力设计值如下：

1. 当基础宽度大于 $3m$ 或埋置深度大于 $0.5m$ 时，除岩石地基外，其地基承载力设计值为：

$$f = f_k + \eta_b \gamma (b - 3) + \eta_d \gamma_0 (d - 0.5) \quad (1.4.8)$$

式中 f ——地基承载力设计值 (kPa)；

f_k ——地基承载力标准值 (kPa)，按上述确定地基承载力的有关规定，对于不同的建筑物安全等级应采用不同的方法确定。每层主要土层参加统计的数据不少于 6 个，并要符合《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-89) 附录五、附录六的规定；

η_b 、 η_d ——基础宽度和埋置深度的地基承载力系数，按基底下土类查表 1.4.4；

γ ——土的重度 (kN/m³)，为基底下土的天然质量密度 ρ 与重力加速度 g 的乘积，地下水位以下取有效重度；

b ——基础底面宽度 (m)，当基底宽小于 $3m$ 时按 $3m$ 考虑，大于 $6m$ 时按 $6m$ 考虑；

γ_0 ——基础底面以上土的加权平均重度 (kN/m³)，地下水位以下取有效重度；

d ——基础埋置深度 (m)，一般自室外地面标高算起，在填方整平地区，可自填土地面标高算起，但填土在上部结构施工后完成时，应从天然地面标高算起，对于地下室，如采用箱基或筏基时，基础埋深自室外地面标高算起，在其它情况下，自室内地面标高算起。

当计算取得设计值 $f < 1.1f_k$ 时，可取 $f = 1.1f_k$ 。

当 b 、 d 的条件不满足上述条件时，以 $f = 1.1f_k$ 直接确定地基承载力设计值。

2. 当偏心距 e 小于或等于 0.033 倍的基础底面宽度时，根据土的抗剪强度指标确定地基