

基础工程设计与地基处理

左名麒 刘永超 孟庆文 编著

中 国 铁 道 出 版 社

2000年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

从实用出发,本书较系统地叙述了基础工程的勘察、设计以及地基基础加固与托换技术。主要包括:岩土工程勘察、基础工程设计、地基基础加固的常用方法及建筑物纠偏技术等。基础工程设计分为独立基础、片筏基础、箱形基础、沉井基础、墩基础等,特别介绍了基坑开挖与支护设计。并附有设计计算实例,供参考。

本书可供土建专业和岩土工程专业的勘察、设计、施工及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程设计与地基处理/左名麒等编著. — 北京:
中国铁道出版社,2000
ISBN 7-113-03659-7

I. 基… II. 左… III. ①基础(工程)-设计 ②地基处理 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 12707 号

书 名:基础工程设计与地基处理

著作责任者:左名麒 刘永超 孟庆文

出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:于文著

封面设计:陈东山

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:26.25 字数:661 千

版 本:2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~2000 册

书 号:ISBN 7-113-03659-7/TU·617

定 价:66.00 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

随着国民经济的发展,我国建筑事业正在蓬勃兴起,常在各种复杂地质条件下建造房屋,地基基础工程日益显得重要。各种建筑物需要有一个坚固的基础,同时又希望造价比较经济。基础工程的费用要占建筑物总造价的 $1/5 \sim 1/3$ 。可见基础工程的重要性是显而易见的。为此,必须研究各种基础工程,而基础工程的理论就离不开岩土力学。因为基础是承受上部结构荷重,并将荷重传递到下卧土层的结构,基础下主要受力层土的物理力学性质及土层均匀程度,对基础设计有很大的影响。

在进行基础工程设计时,首先必须有一个上部结构—基础—地基相互作用的整体观念,这样才能作出较合实际的设计。

本书较系统地介绍了各类基础的设计计算及基坑开挖与支护、地基基础加固处理、基础托换及建筑物纠偏技术的设计与施工方法。

本书分四章,现简要地介绍各章的内容及编写人员:

第一章 概论,由左名麒、于文著编写。本章简要地介绍了地基基础概念及设计的基本原则和发展概况。

第二章 岩土工程勘察,由孟庆文、叶启民编写。本章主要介绍岩土工程勘察的基本要求、技术标准和勘察手段及场地、地基基础评价等。

第三章 基础工程设计,由左名麒负责编写。其中第二节中桩基础由刘永超编写。刘克玲协助本章的编写工作。本章主要介绍了天然地基上浅基础设计,常采用的刚性基础、钢筋混凝土独立基础、墙下条形基础、柱下条形基础与十字交叉基础以及筏形基础等;天然地基上深(浅)基础(分墩基础、沉井基础)和箱形基础以及桩基础等。第三节着重介绍了基坑开挖与支护设计和施工方法。

第四章 地基基础加固与托换,由左名麒、刘永超编写。其中水泥土搅拌桩和低强度混凝土桩复合地基由刘永超编写,并提出了许多有实践经验的成果,可供参考。本章主要介绍几种常用的地基基础加固方法,同时又介绍了几种基础托换及建筑物纠偏技术。

本书在编写过程中,参考并引用了许多作者公开发表的著作和文献资料,在此深表谢意。

本书的出版得到了各方面的支持,特别是中国铁道出版社于文著副编审的大力支持和帮助,在此也表示深切的谢意!

限于作者水平,书中难免有许多不妥之处,恳请读者批评指正。

左名麒

1999年10月于天津

第一章 概 论

第一节 地基基础的概念

任何建筑物都要建造在土层或岩层上面,土层受到建筑物荷载的作用后,就要产生压缩变形。土层的压缩性比建造墙或柱的建筑材料(如砖、混凝土等)大得多,为了减少建筑物的下沉和保证它的稳定性,就需要将墙或柱与土接触的断面尺寸适当的扩大,以减少建筑物与土接触部分的压强。我们将建筑物最底下扩大的这一部分称为基础;而将承受由基础传来荷载的土层(或岩层)称为地基,位于基础底面下第一层称为持力层,在其以下的土层统称为下卧层。

基础是建筑物十分重要的组成部分,没有一个坚固而持久的基础,上部结构就是建造得再结实,也是要出问题的。基础是承受上部结构荷重,并将其传递到下卧土层的结构,它的主要功能有以下几点:

1. 通过扩大的基础底板或桩基础等形式将上部结构传来的荷载,如轴向力、水平力和弯矩等传递到持力层和下卧层上,以满足地基土承载力要求;
2. 根据地基可能出现的变形及上部结构特点,利用基础所具有的刚度,与上部结构共同调整基础的不均匀变形,使上部结构不致产生过多的次应力;
3. 当上部结构受到较大的水平力,如风压、水压、土压以及地震力的作用时,采用挡土墙、板桩或锚杆等可起一定的抗滑或抗倾覆的作用;
4. 作为振动设备的基础还具有减振的功能。

上部结构的荷重通过基础传至土体后,便继续向土体深部扩散。由于土体是半无限空间体,土中应力随扩散深度而逐渐减少。到某一深度后,由于上部荷载所增加的土中应力甚小,对工程实际已无意义。因此一般将基础底部高程至该深度范围内的土体统称为建筑物的地基。对地基承载力及变形起主要作用的土体简称为主要受力层。事实也正是如此,当地基主要受力层较好时,建筑物的安全易于保证;当主要受力层不均匀或较软弱时,地基事故相对增加,地基处理费用也增加。

对一般房屋基础,主要受力层与基础的宽度及密集程度有关。利用这一关系,对基础面积较大的筏基和箱基,其地基主要受力层一般为基础短边宽度的一倍;对基础宽度较小而密集时,考虑到基础间的相互影响及地基的均匀程度,一般将基底高程下 5 m 以内的土层划为主要受力层。

重点掌握主要受力层土的物理力学性质及土层的均匀程度,对勘察及基础设计都是十分重要的。

为了保证建筑物的安全,地基同时要满足两个基本要求:

1. 地基应具有足够的强度,在荷载作用后,不致因地基失稳而破坏;
2. 地基不能产生过大的变形而影响建筑物的安全与正常使用。

良好的地基一般具有较高的强度与较低的压缩性,容易满足上述要求。软弱地基的工程性质较差,对这些地基必须进行人工处理,才能满足强度与变形的要求。经过人工处理而达到设

计要求的地基成为人工地基,这种地基随着建筑物的发展已被广泛利用。若地基上部软弱,下部坚实,可考虑采用桩基础,将上部结构荷载穿过软土层,传至坚实土层。不需处理而直接利用的地基称为天然地基。

实践证明,建筑物的事故很多是与地基基础有关的,例如,著名的意大利比萨斜塔的倾斜就是由于地基不均匀沉降而造成的。又如,建于1913年的加拿大特朗斯康谷仓,由于设计前不了解地基埋藏有厚达16 m的软黏土层,建成后谷仓的荷载超过了地基的承载能力,造成地基丧失稳定性,使谷仓西侧陷入土中8.8 m,东侧抬高1.5 m,仓身倾斜 27° 。这是地基发生了整体滑动破坏,从而引起建筑物失去稳定性的典型例子。

此外基础工程的费用与建筑物总造价的比例,视其复杂程度和设计、施工的合理与否,可以变动于百分之几到几十之间。因此,地基基础在建筑工程中的重要性是显而易见的。如果设计者能熟练地应用土力学基本原理,重视地基勘察工作,经过精心设计、精心施工,那么,地基基础事故是可以避免的。

第二节 基础工程设计的基本原则

基础工程设计包括基础设计与地基设计两大部分。基础设计包括基础形式的选择、基础埋置深度及基底面积大小、基础内力和断面计算等。如果地下部分是多层结构,还应包括地下部分的计算。地基部分包括地基土的承载力确定、地基变形计算、地基抗倾覆及抗滑计算等。基础设计的主要依据一方面是上部结构荷载及其分布等情况,另一方面是地基土的力学性质、土层的分布、地下水位及其变化等情况。因此,基础工程设计亦称地基基础设计。当地基强度不足或压缩性很大而不能满足设计要求时,就要进行地基处理,详见第四章。经处理后的地基称为人工地基。

在进行基础工程设计时,首先必须有一个上部结构——基础——地基相互作用的整体观点。要了解上部结构的特点、基础的作用,以及在各种地基上可能出现的问题。例如,在软弱土地基及中等压缩性地基上,相同建筑物出现的问题是不同的,采用的设计措施也是不同的。如果以为得知地基承载力就足以解决所有的问题,那就不能理解为什么同一上部结构在某种地基上未出现问题,而在另一种地基上却出现严重事故;以及在同一地基上某些类型结构未出问题,而另一类型结构却遭到破坏。由于上部结构类型很多,地基土的差别很大,各类基础的作用不同,虽然目前从理论上未能正确解决相互作用计算问题,但是有关这方面的实践经验还是相当丰富的。

基础工程设计应符合以下三个原则:

一、基底压力设计值小于或等于地基承载力设计值(即 $p \leq f$)

这个原则的核心是通过基础传给地基的平均压力(即基底压力)应根据具体情况由设计人员确定,但其最大值不应使地基处于长期塑性变形的状态中。相应于该状态时所能承受的压力即为地基承载力设计值。它与地基极限承载力不同,当基底压力设计值等于承载力设计值时,地基经过一段压缩变形后趋于稳定,它能保证上部结构及其他功能(如上下水管道、煤气管道、地面坡度等),在其安全使用年度内正常工作。如果基底压力设计值等于极限承载力,那就意味着地基处于破坏临界状态。

当压力超过 p_b 后,地基即处于极限平衡阶段,变形急剧增加,地基处于失稳状态。 p_b 通

常称为极限荷载,或称为地基极限承载力。地基极限承载力不能作为设计值使用。而地基承载力设计值是从长期荷载作用下地基变形的稳定程度出发来确定的。所以不论用哪一种方法来确定地基承载力设计值,都必须服从在某压力下地基变形能逐渐稳定这一基本原则。

二、地基计算变形量小于建筑物容许变形值(即 $s \leq w$)

众所周知,上部结构所用的构件材料除木结构外,其他如砖石砌体和钢筋混凝土梁板都只能承受较小的差异沉降,而地基沉降往往从数厘米至数十厘米,地基的不均匀性按变异系数表示,一般大于 15%,加上结构布局及荷载的变化,差异沉降会超过结构的承受能力。因此在设计时预先计算可能发生的变形特征及变形量,则可事先采取措施以减少建筑物破坏的可能性。

地基变形特征有沉降量、倾斜、沉降差、相对弯曲和局部倾斜等。而沉降计算一般均按这些特征值进行计算。

沉降量:是指某点的下沉量。对于柱下基础刚度很大的结构物如水塔、烟囱、高层建筑等的沉降量应理解为各点沉降量的平均值。

沉降差:主要用来控制框架柱基础或排架柱基础两相邻柱的沉降差 $\Delta s = s_1 - s_2$ 。有时也可用来控制墙基与邻近柱基之间的沉降差。

倾斜:主要用来控制高耸构筑物、高层建筑、油罐等的沉降差,它是两端点沉降差与其距离的比值。造成倾斜的因素很多,如上部结构荷载偏心,地质不均匀,黄土地基的局部湿陷、软土地基相邻荷载影响、冻土地基局部有热源、地基土中有局部可液化层等。在设计时应严加注意。

局部倾斜:指建筑物沿纵向或横向墙体(6~10 m内)基础两点的沉降差与其距离的比值。它主要用来控制当上部结构体型突然变化,或地基突然变化等情况时的沉降差。设计时应控制局部倾斜的部分,往往也是墙体最易破坏的部位。

相对弯曲:只用于柔性结构或大面积堆料所引起的沉降,它是中点与端部沉降差与其距离的比值。至于一般建筑物不宜用它来控制设计。

三、水平力作用时应满足稳定要求

这个原则的制定是使地基具有抗倾覆、抗滑动的能力。失稳造成的事故往往是灾难性的,如房屋倒塌、人畜伤亡和交通阻断。在山区建设中,为防止地基失稳而修建的支挡结构和排水设施可达到整个造价的 50% 以上。所以在设计规范中对此作了严格规定。主要方面有:

1. 应避免在不良地质地段(即有可能或易于形成滑坡的地段)进行建设;
2. 防止因山区平整场地时大挖大填引起的滑坡;
3. 作好排水设施,防止洪水冲刷而形成滑坡;
4. 规定在斜坡场地建筑物与坡缘的间距;
5. 在邻近建筑物附近开挖深基坑时应防止边坡倒塌;
6. 在风力和地震力较大的地区必须进行抗倾覆及抗滑计算;
7. 在江、河沿岸的建筑不仅要考虑洪水的危害,还要考虑因建筑物的重量及堆载所引起地基失稳问题。

上述三个原则是设计地基的基本原则,对于重要程度或使用年限不同的建(构)筑物可分别对待。

为了控制建筑物的沉降在允许的范围内,一般分两种情况,第一类情况是按承载力设计计

算,而不必计算沉降量。在此情况下,设计承载力已考虑了容许沉降的要求,只要满足承载力的条件则沉降要求自然满足;第二类情况是在按承载力设计的同时还需进行变形计算。当按《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)方法确定的地基承载力时,表 3.2.21 所列的二级建筑物和三级建筑物可不作沉降计算。

第三节 基础工程的发展概况

基础工程是土力学知识在建筑工程中的实际应用。远在我国古代西安半坡村发现的新石器时代的遗址中就有土台基础。公元前两世纪修建的驰名中外的万里长城、宏伟的宫殿和寺院、宝塔建筑,都是因为有了坚固的地基基础,才能经受强风的考验和历次大地震的袭击,而保留至今。赵州桥迄今已有 1 300 余年,其下沉量只有几厘米。

桩基和人工地基在我国建筑中也由来已久。许多古建筑的基础就应用灰土垫层。郑州超化寺的塔基采用的就是桩基。但是由于当时生产力发展水平限制,这些地基基础高超技术未能提炼成系统的科学理论。

18 世纪工业革命后,随着资本主义工业的发展,建筑、铁路和水利的兴建,推动了作为地基基础的理论的土力学的发展。1773 年法国库仑(C.A.Coulomb),根据试验提出了砂土的抗剪强度公式,创立了滑动土楔的土压力公式。之后,1857 年英国朗金(W.J.M.Rankine)根据土体极限平衡条件,从另一途径建立了土压力理论。1885 年法国布辛奈斯克(J.Boussinesq)求得了半无限弹性体在竖向集中力作用下的应力和变形理论解答。1922 年瑞典费伦纽斯(B.H.Fellenius)解决了土坡稳定计算理论课题。以上这些古典理论和计算方法,至今仍在工程中沿用。1925 年美国太沙基(K.Terzaghi)系统地归纳和总结以往成就,发表了土力学专著。这对土力学理论的发展起了很大的推动作用。

近年来,由于土木工程建设的需要,特别是电子计算机和计算技术的引入,使土力学与基础工程得到了迅速的发展。目前已经可以把变形和强度问题统一起来进行分析,并可以考虑土的非线性应力应变性状;基础分析已从过去的单独计算发展到考虑地基基础与上部结构共同作用的整体分析;在土工试验方面,开创了许多新的测试技术和仪器设备,原位测试技术正日益受到重视。例如,静力触探、十字板剪切仪,分层沉降仪、测斜仪、孔隙水压力仪、土压力盒、离心模型试验等量测手段的出现,使人们能更直观地掌握地基土的各种反应,为设计与施工提供了较正确的数据和资料。基础工程和地基处理技术,无论在理论上,还是在施工技术方面,都有了很大的发展,出现了补偿式基础、桩—筏基础、桩—箱基础、巨型钢筋混凝土浮运沉井等新的基础形式;地基处理方面有强夯法、砂井(或排水板)预压法、真空预压、振冲法、旋喷桩法、深层搅拌法、树根桩、压力注浆法等都是近 20 多年来创造和发展起来的新方法;另外,为满足深基坑开挖支护工程的需要,出现了盾构、顶管、地下连续墙、深层搅拌水泥土挡墙、锚杆支护和土钉墙等施工方法和新型支护结构形式。目前有把工程地质勘察、基础工程设计和地基处理三方面工作结合起来,统称岩土工程。岩土工程问题的研究,在我国方兴未艾。

第二章 岩土工程勘察

第一节 引言

岩土工程(Geotechnical Engineering)是以地质学、岩体力学、土力学、基础工程学及其它相关的工程学科作为理论基础,以土木工程中的岩土体为工作对象,主要涉及到房屋建筑、市政工程、铁路、道桥和水利工程中的土地利用、地基基础、土工结构和地质灾害防治等方面的问题。一般来说,其工作方法是:勘察测试——分析(计算)论证——方案制定(设计)——方案实施(施工)——施工监测。由此可见岩土工程的工作内容有三个显著特点:

(1)工作对象特性的变异性,由于岩土是自然材料,其工程特性极为复杂;

(2)工作成果的不可预见性;

(3)工作失误的难以弥补性,岩土工程的任何失误,都可能给整个工程带来不可估量的损失。而岩土工程勘察是岩土工程的基础,所以搞好岩土工程勘察、测试是岩土工程的最基本内容。

20世纪80年代以前,我国的勘察体制基本上还是建国初期的原苏联模式,即工程地质勘察体制。工程地质勘察主要以地质学为理论基础,基本上属于地质学科范畴,其任务是查明建筑物场地或地区的工程地质条件,仅为规划、设计、施工提供地质资料。因此旧的工程地质勘察体制只把研究分析工作局限在地质条件和地质资料上,很少从工程观点和工程条件出发去研究场地和地基的地质条件。一般只提出勘察场地的工程地质条件和存在的地质问题,而不提或很少提到解决问题的具体方法,至于所提供的资料设计单位如何利用或利用得是否合理,却很少去过问,这样就使得勘察工作仅局限在“钻探、取样、试验、查表、提供报告”的狭小圈子里,通俗的说就是:只看病,不开方。

国外从20世纪60年代开始,在土木工程中就出现了岩土工程分支,以解决和处理在建设过程中出现的所有与岩土体有关的工程技术问题。岩土工程是一门地质与工程紧密结合的新专业学科,属土木工程范畴。岩土工程的任务不仅反映工程地质条件,提出地质问题,而且要提出解决问题的方法,一切勘察工作都要落实在解决工程的实际问题上,也就是说:即看病,又开方。同时岩土工程勘察与设计、施工紧密相结合,服务于工程建设的全过程,直到工程建成后的监测工作。因此,必须做到认识自然和改造自然的统一,技术可靠和经济合理的统一,岩土条件和建设要求的统一,才能提高工程建设项目的经济效益、环境效益和社会效益。

由单一的工程地质勘察向综合性的岩土工程发展,体现了建设规模和科技水平发展的要求。我国的岩土工程领域正处在大发展时期,有关标准、规范和行政性法规正在逐步制定和完善。

第二节 岩土工程勘察基本要求

一、岩土工程勘察等级

岩土工程勘察工作应该在事先周密考虑下制定的方案指导下进行,合理的勘察方案即能保证充分满足勘察技术方面的要求,又能以最少的投资、最短的工期达到预期目的。而最佳勘察方案的制定又是和岩土工程勘察等级,即拟建建筑物安全等级、场地条件、地基条件紧密联系的。因此在划分工程安全等级、场地等级和地基等级的基础上进一步划分出岩土工程勘察等级。

(一)工程安全等级

工程结构的安全等级是根据地基损坏造成建筑物破坏后果的严重性,将建筑物分为三个安全等级,勘察时应根据具体情况,按表 2.2.1 选用。

对于建筑物及构筑物的安全等级,《岩土工程勘察规范》(GB50021—94)已有明确的划分标准。但对于地下洞室、大面积岩土处理等工程的安全等级,目前还无条件做出具体规定,也可以根据《岩土工程勘察规范》(GB50021—94)中的安全等级,按实际情况划分。大型的沉井和沉箱、超长的桩基和墩基、有特殊要求的精密设备和超高压设备、有特殊要求的深基开挖和支护工程、大型基础托换和补强工程、以及其他难度大、破坏后果严重的工程,均宜将安全等级划分为一级。

工程安全等级 表 2.2.1

安全等级	破坏后果	工程类型
一级	很严重	重要工程
二级	严重	一般工程
三级	不严重	次要工程

(二)场地等级

场地等级根据场地的复杂程度分为三级,具体分级标准为:

1. 一级场地

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;
- (2)不良地质现象强烈发育;
- (3)地质环境已经或可能受到强烈破坏;
- (4)地形地貌复杂。

2. 二级场地

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;
- (2)不良地质现象一般发育;
- (3)地质环境已经或可能受到一般破坏;
- (4)地形地貌较复杂。

3. 三级场地

符合下列条件者为三级场地:

- (1)地震设防烈度等于或小于 6 度,或对建筑抗震有利的地段;
- (2)不良地质现象不发育;
- (3)地质环境基本未受破坏;
- (4)地形地貌简单。

(三)地基等级

地基等级按地基的复杂程度分为三级,具体分级标准为:

1. 一级地基

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并且需特殊处理;

(2)多年冻土、湿陷、膨胀、盐渍、污染严重的特殊性岩土,以及其他情况复杂,需做专门处理的岩土。

2. 二级地基

符合下列条件之一者为二级地基:

(1)岩土种类多、性质变化大、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。

3. 三级地基

符合下列条件者为三级地基:

(1)岩土种类单一、性质变化不大、地下水对工程无影响;

(2)无特殊性岩土。

在划分工程安全等级、场地等级和地基等级的基础上,进一步对岩土工程勘察进行综合性分级(见表 2.2.2)。

岩土工程勘察等级

表 2.2.2

勘察等级	确定勘察等级的条件		
	工程安全等级	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	一级
		二级	二级
三级	二级	三级	三级
	三级	二级	三级
		三级	二级或三级

二、岩土工程勘察的基本技术准则

岩土工程勘察是基本建设的一个重要环节。勘察成果是项目决策、设计和施工的重要依据,直接关系到工程建设的经济效益、环境效益和社会效益。在进行岩土工程勘察时,应掌握以下基本技术准则:

1. 在理论、方法和经验上,要充分做到工程地质、土力学、岩土力学和基础工程学、结构力学相结合,定性与定量相结合;

2. 在工程实践上,必须做到勘察与设计、施工密切配合协作,力求技术可靠并经济合理;

3. 要把岩土体(包括岩土层及由其构成的场地与地基)既看成地质体,又要看成是力学介质体,同时还要把它看成是工程的实体;

4. 采用各项岩土参数时,应注意岩土材料的非均匀性及各向异性、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试验手段综合验证;

5. 岩土工程勘察宜以实际观测的数据和岩土性状为依据,并以原型观测、实体试验及原位测试作为对类似的工程进行分析论证的依据,但应考虑到不同工程对象在设计、施工方面的差异。对重点工程宜进行室内的或现场的模型试验;

6. 在岩土工程稳定性计算中宜采用两种以上的可能方案进行比较,通常取安全系数小的一种方案作为安全控制。但是为避免保守,可与当地的实际工程经验对照以进行必要的修正。

三、岩土工程勘察阶段的划分及要求

坚持勘察工作程序,是保证勘察质量的重要环节。将勘察工作分阶段进行是为了更好地适应工程建设的客观需要,决不是简单的人为规定。曾经有不少工程都搞过一次性的勘察,但在工程实践中,除地质条件简单的场地外,大部分工程又都重新搞了三、四次甚至更多的勘察工作。因此,盲目的简化勘察阶段的做法,必然是事与愿违,贻误工期,造成浪费。

在国际上,除原苏联外,极少象我国那样把岩土工程勘察划分为不同的阶段,但勘察工作还是由粗到细的进行。我国勘察阶段的划分一般为可行性研究勘察(选址勘察)、初步勘察和详细勘察三个阶段,施工勘察不作为一个固定的阶段,具体依据工程的实际情况而定。

但是对一些面积不大且工程地质条件简单的场地、有建筑经验的地区,或单项岩土工程(如基础托换或加固等),可以简化勘察阶段,直接进行一次性勘察。

(一)可行性研究勘察

可行性研究阶段的勘察,应对拟建场地的稳定性和适宜性做出评价。并应符合以下要求:

1. 搜集区域地质、地形地貌、地震、矿产和附近地区的工程地质资料及当地的建筑经验;
2. 在搜集和分析已有资料的基础上,通过踏勘,了解场地的地层、构造、岩石和土的性质、不良地质现象及地下水等工程地质条件;

3. 对工程地质条件复杂,已有资料不能符合要求,但其他方面条件较好且倾向于选取的场地,应根据具体情况进行工程地质测绘及必要的勘探工作。

把可行性研究勘察作为一个勘察阶段,其目的是要强调可行性研究时勘察工作的重要性,特别是一些大的工程更是如此,在此阶段中,通过搜集、分析已有的资料,现场踏勘和必要的勘察工作,对拟选场地的稳定性和适宜性做出岩土工程评价,进行技术经济论证和方案比选。

(二)初步勘察

初步勘察阶段应对场地内建筑地段的稳定性做出岩土工程评价,并进行以下主要工作:

1. 搜集可行性研究阶段岩土工程勘察报告,取得建筑区范围的地形图及有关工程性质、规模的文件;
2. 初步查明地层、构造、岩土物理力学性质、地下水埋藏条件及冻结深度;
3. 查明场地不良地质现象的成因、分布、对场地的稳定性影响及其发展趋势;

4. 对抗震设防烈度大于或等于 7 度的场地,应判定场地和地基的地震效应。

初步勘察是在可行性研究勘察的基础上,对场地内建筑地段的稳定性做出评价,并为确定建筑总平面布置、主要建筑物地基基础方案及对不良地质现象的防治工程方案进行论证,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。

(三)详细勘察

详细勘察一般是在工程平面位置、地面整平标高、工程的性质、规模和结构特点等已经确定、基础形式和埋深已有初步方案的情况下进行的,因此是各勘察阶段中最重要的—次勘察。其目的是最终确定基础方案,为地基和基础设计计算提供依据。

详细勘察应按不同建筑物或建筑群提出详细的岩土工程勘察资料和设计所需的岩土技术参数;作出建筑地基的岩土工程分析评价;并对基础设计、地基处理及不良地质的防治等具体方案做出论证和建议。主要工作如下:

1. 取得附有坐标和地形的建筑物总平面布置图,各建筑物的地面整平标高,建筑物性质、规模、结构特点及可能采取的基础形式、尺寸、预计埋置深度,对地基基础设计的特殊要求等;

2. 查明不良地质现象的成因、类型、分布范围、发展趋势及危害程度并提出评价与整治所需的岩土技术参数和整治方案建议;

3. 查明建筑物范围各层岩土类别、结构、厚度、坡度、工程特性,计算和评价地基稳定性和承载力;

4. 对需计算沉降的建筑物,提供地基变形计算参数,预测建筑物的沉降、差异沉降和整体倾斜;

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,尚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的可能性,并应计算液化指数;

6. 查明地下水的埋藏条件,当基坑降水设计时应查明水位变化幅度与规律,提供地层的渗透性参数;并判定环境水和土对建筑材料和金属的腐蚀性;

7. 判定地基土及地下水在建筑物施工和使用期间可能发生的变化及其对周围环境的影响,提出防治措施及建议;

8. 对深基坑开挖尚应提供稳定计算和支护设计所需的岩土技术参数;论证和评价基坑开挖、降水等对邻近工程的影响;

9. 提供桩基设计所需的岩土技术参数,并确定单桩承载力;提出桩的类型、长度等建议。

第三节 常规岩土工程勘察

一、勘探点间距

勘探点的间距主要取决于地质条件的复杂程度,又与勘察阶段和工程要求有关,对房屋建筑和构筑物一般按以下原则确定:

1. 初步勘察阶段,根据岩土工程勘察等级,勘探线、勘探点间距可按表 2.3.1 确定。

控制性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。

2. 详细勘察的勘探点间距按表 2.3.2 确定,并符合以下规定:

勘探线、点间距 表 2.3.1

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

勘探点间距 表 2.3.2

岩土工程勘察等级	间距(m)
一级	15~35
二级	25~45
三级	40~65

注:表中间距不适用于地球物理勘探。

(1)对安全等级为一级、二级建筑物,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物或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个;

(3)在复杂地质条件或特殊岩土地区宜布置适量的探井;

(4)高耸构筑物应专门布置必要数量的勘探点。

3. 高层建筑详细勘察勘探点的布置,除应符合上述要求外,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;

(2)勘探点的布置应满足纵横方向对地层结构和均匀性的评价要求;

(3)特殊体型的建筑物应按其体型变化布置勘探点;

(4)单幢建筑物的勘探点不应少于4个,其中控制性勘探点不宜少于3个。

4. 对桩或墩基础勘察的勘探点的布置应控制持力层层面坡度、厚度及岩土性状,当层面高差大或岩土性质变化较大时应适当加密勘探孔。当岩土条件复杂时,每个大口径的桩或墩宜布置一个勘探孔。

二、勘探深度

勘探深度的确定取决于工程要求及岩土条件,对房屋建筑与构筑物,一般应按以下准则确定:

1. 初步勘察按岩土工程勘察等级,勘探孔深度由表 2.3.3 确定,但当遇下列情况之一时,应适当增减勘探孔深度:

(1)当场地地形起伏较大时,应根据预计的整平地面标高调整孔深;

(2)在预定深度内遇基岩时,除控制性勘探孔应钻入基岩适当深度外,其他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(如碎石土、老堆积土等)时,除控制性勘探孔应达到规定深度外,其他勘探孔可适当减小;

(4)当预定深度内有软弱地层时,勘探孔深度应适当加大。

2. 详细勘察勘探孔的深度自基础底面算起,其深度应按以下原则确定:

(1)对按承载力计算的地基,勘探孔深度应能控制地基主要受力层。当基础底面宽度不大于5m时,勘探孔深度应为基础底面宽度的3倍;对单独柱基应为1.5倍,但不应小于5m;

(2)大型设备基础勘探孔深度不宜小于基础底面宽度2~3倍;

(3)对需要进行变形验算的地基,控制性勘探孔的深度应超过地基沉降计算深度,并应考虑相邻基础的影响,其深度按表 2.3.4 确定;

勘探孔深度 表 2.3.3

岩土工程等级	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

控制性勘探孔深度

表 2.3.4

基础底面宽度 $b(m)$	勘探孔深度(m)		
	软 土	一般黏性土、粉土 及砂土	老堆积土、密实砂 土及碎石土
$b \leq 5$	$3.5b$	$3.0b \sim 3.5b$	$3.0b$
$5 < b \leq 10$	$2.5b \sim 3.5b$	$2.0b \sim 3.0b$	$1.5b \sim 3.0b$
$10 < b \leq 20$	$2.0b \sim 2.5b$	$1.5b \sim 2.0b$	$1.0b \sim 1.5b$
$20 < b \leq 40$	$1.5b \sim 2.0b$	$1.2b \sim 1.5b$	$0.8b \sim 1.0b$
$b > 40$	$1.3b \sim 1.5b$	$1.0b \sim 1.2b$	$0.6b \sim 0.8b$

注:①表中数据适用于均质地基,当地基为多层土时可根据表列数值调整;

②圆形基础可采用直径代替基础底面宽度。

(4)当有大面积堆载或软弱下卧层时,应适当加深勘探孔深度。

3. 对于高层建筑勘探孔勘探深度,当采用箱性基础或筏板基础时,控制性勘探孔的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;另外还可以依据下式计算确定:

$$Z = d + \alpha b \quad (2.3.1)$$

式中 Z ——勘探孔深度;

d ——箱基或筏基的埋深;

b ——基础底面宽度,对圆形基础按最大直径考虑;

α ——与压缩层有关的经验系数,按表 2.3.5 确定。

经验系数 α 值

表 2.3.5

勘探孔类别	碎石土	砂 土	粉 土	黏性土(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

4. 桩和墩当需要计算沉降时应取勘探点总数的 $1/3 \sim 1/2$ 作为控制孔,其深度应达到压缩层计算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坚硬岩土层时,可终止勘探。一般性勘探孔深度宜进入持力层 $3 \sim 5$ m。大口径桩或墩,其勘探深度应达到桩尖下桩径的 3 倍。

沉井的勘探孔深度宜根据沉井刃脚埋深和地质条件确定,勘探孔宜钻至沉井刃脚下 5 m,大型沉井控制性勘探孔应达到沉井刃脚下沉井宽度的一倍,但是在沉井刃脚下遇坚硬岩土层时即可终孔。

三、勘探测试方法

勘探方法可分为直接、半直接和间接三大类。直接的勘探是指用人工或机械开挖的探井、探槽、竖井等,这类勘探工程断面尺寸大,工作人员可进入其中,在较大的暴露面上对岩土层进行观察、取样或原位测试;半直接的勘探包括各类较小口径的取样钻探;间接的勘探包括触探和工程地球物理勘探。

(一)钻探

1. 钻探目的

钻探是岩土工程勘探方法中应用最广泛的一种,要了解深部地层并采取试样,钻探几乎是

唯一可行的方法。它的主要目的有：

- (1)揭露并划分地层,量测界限;采取岩土试样鉴定和描述岩土的岩性和成分;
- (2)了解地质构造、不良地质分布、界线及形态等;
- (3)从钻孔中选取岩土试样,供试验室试验分析,确定岩土的物理力学性质;
- (4)揭露并测量地下水的埋藏深度,了解地下水类型,采取水试样,化验和分析等;
- (5)利用钻孔进行孔内原位测试(十字板剪切试验、旁压试验、标准贯入试验等),以及水文地质试验及长期观测等。

2. 钻进方式

钻探的钻进方式有回转、冲击、振动和冲洗四种。

(1)回旋钻进是指通过钻杆将旋转力矩传递至孔底钻头,同时施加一定的轴向压力实现钻进。产生旋转力矩的动力源可以是人力或机械,轴向压力则依靠钻机的加压系统以及钻具自重;

(2)冲击钻进是利用钻具自重冲击孔底实现钻进。破碎后的岩粉等由循环液冲出地面,也可采用带活门的抽筒提出地面;

(3)振动钻进是通过钻杆将振动器激发的速振传递至孔底管状钻头周围的土中,使土的抗剪强度急剧降低,同时在一定的轴向压力下使钻头贯入土层中;

(4)冲洗钻进是通过高压射水破坏孔底土层实现钻进。

以上几种钻进方式分别适用于不同的地层,各有特点和利弊,应根据地层情况和工程要求恰当的选择。冲洗钻进,因不能取样,一般情况下不宜采用,但有时只需查明基岩埋藏深度而不需详细鉴别覆盖土层,则冲洗钻进仍是一种有效的方法。

3. 钻探原则

为了取得高质量的岩土勘察资料,必须有高质量的钻探原始资料做保证,因此钻探应按以下原则进行:

- (1)钻进深度、岩土分层深度的量测误差范围应为 ± 0.05 m;
- (2)非连续取心钻进的回次进尺,对螺旋钻进应在1 m以内;对岩心钻探应在2 m以内;
- (3)对鉴别地层天然湿度的钻孔,在地下水位以上应进行干钻。当必须加水或使用循环液时,应采用双层岩心管钻进;
- (4)岩心钻探的岩心采集率,对一般岩石不应低于80%,对破碎岩石不应低于65%。对需重点查明的部位(如滑动带、断层、软弱夹层等)应采用双层岩心管连续取心。当需确定岩石质量指标RQD时,应采用75 mm口径(N型)双层岩心管,且宜采用金刚石钻头;
- (5)定向钻进的钻孔应分段进行孔斜测量。倾角及方位的测量应分别为 $\pm 0.1^\circ$ 、 $\pm 0.3^\circ$;
- (6)野外记录应由经过专业培训的人员承担。记录应真实可靠,及时按钻进回次逐段填写,严禁事后追记;
- (7)钻探现场描述可采用肉眼鉴别、手触摸的方法,有条件或勘察工作有明确要求时,可采用标准化和定量化的方法;
- (8)钻探成果可采用钻孔野外柱状图表示。岩土芯样可根据工程要求一定期限或长期保存,也可拍摄岩、土芯彩照纳入勘察成果资料。

另外,由于野外描述的质量与描述人员的经验、水平关系很大,记录中应使用标准化的术语,提倡使用某些简易的仪器工具,如袖珍贯入仪、扭剪仪、岩石点荷载仪等,使描述尽可能的标准化、量化。

4. 取样

岩土取样是一项十分重要的基础性工作,其质量的优劣直接影响测试数据的准确性和可靠性。岩土取样又是一项有相当难度的工作,尤其是破碎性岩石、软土、湿陷性土、膨胀性土、水下的粉土、砂土等。目前我国岩土取样的质量普遍很低,并且与国际上发达国家的技术标准不一致,为此参照国外的经验,我国的《岩土工程勘察规范》(GB50021—94)对岩土质量级别做了四级划分,规定了利用各级土样能够进行的试验项目(见表 2.3.6)。其中Ⅰ、Ⅱ级土样,相当于“原状土样”,但Ⅰ级土样比Ⅱ级土样有更高的要求。与国外的规定相类似,表 2.3.6 对四级土样的扰动程度的区分只是定性的、相对的,没有严格的定量标准。一般情况下,在实际工程中不大可能对所取土样的扰动程度进行详细的研究和定量评价,只能对采取某一级别的土样所必须使用的设备和操作条件做出规定,同时考虑土层特点、操作水平和地区经验来判断所取土样是否达到了预期的质量等级。Ⅰ级土样不是所有情况下都能得到的,有的土层,如砂层,即使采用特殊的取样技术也难以取出很理想的原状土样。并且有时由于勘探投资的限制,没有条件使用高标准的取样设备,也使土样的质量受到限制。在这类情况下也只能考虑以Ⅱ级土样代替Ⅰ级土样,用于做相应于Ⅰ级土样的试验,但是也应该根据土样的扰动情况和地区经验恰当的使用试验结果。

土样质量等级划分

表 2.3.6

级 别	扰动程度	试 验 目 的
Ⅰ	不 扰 动	土类定名、含水量、密度、强度试验、固结试验
Ⅱ	轻微扰动	土类定名、含水量、密度
Ⅲ	显著扰动	土类定名、含水量
Ⅳ	完全扰动	土类定名

注:①不扰动是指原位应力虽已改变,但土的结构、密度、含水量变化很小,能满足室内试验的各项要求;

②如确无条件采取Ⅰ级土样在工程技术要求允许的情况下可以Ⅱ级土样代用,但宜先对土试样受扰动程度做抽样鉴定,判定用于试验的适宜性,并结合地区经验使用试验成果。

对于取土器的类型主要有贯入式取土器和回转式取土器两种。贯入式取土器的取土过程是:随着取土管进入土中,与取土管壁体积相当的土被排挤,从而必然引起四周土中一定程度的应力改变和塑性变形。因此取土器的壁厚愈大,使土样产生扰动的可能愈大。为了减轻这种扰动应该尽量采取一些减少扰动的措施,如使用薄壁取土器;提高贯入速度;增大取样长度;提高内壁光洁度等。总之,贯入式薄壁取土器,一般只适用于软土或部分可塑状土,虽然加大厚度可应用于较硬的土类,但比面积随之增大,扰动程度增加,取样质量难以保证。所以对坚硬、密实的土类甚至软岩,要取得高级的土样必须改用回转式取土器。回转式取土器的基本结构与岩芯钻探的双层岩芯管相同,分为单动和双动两类。

《岩土工程勘察规范》(GB50021—94)结合我国的实际情况,对土试样质量等级、取土器系列和规格、取样方法等都做了比较明确的规定。这些规定对统一我国取样标准、提高取样和测试质量有重要意义。

我国目前大多数单位使用的是内装镀锌铁皮衬管的对分式厚壁敞口取土器,这种取土器与国际上惯用的取土器相比,性能相差甚远,理想的情况下,也只能取得Ⅱ级土样,因此不能视为高质量的取土器。并且在这种厚壁敞口取土器中,大多使用镀锌铁皮衬管,其弊病甚多,对

土样质量影响很大,应逐步予以淘汰,代之以塑料或酚醛层压纸管。目前仍允许使用镀锌铁皮衬管,但要特别注意保持其形状圆整,重复使用前应注意整形,清除内外壁粘附的蜡、土或锈斑。

(二)静力触探试验

静力触探试验可直接由探头内的电测传感器测定探头贯入土中所受的阻力,电测技术使测试贯入阻力的精度大大提高,并且它有很好的再现性,能实现数据的自动采集和自动绘制静力触探曲线,反映土层剖面的连续变化,操作快捷。利用地区经验可评定土的岩土工程参数,并对岩土工程问题(如地基承载力、单桩承载力、砂土液化等)做出评价,因此是一种很有效的原位测试手段。

1. 静力触探贯入机理及适用范围

静力触探的贯入机理的理论分为三大类:承载力理论、孔穴扩张理论及稳定贯入流体理论。不同的贯入理论都是建立在不同的假设基础上的,适用于不同性质的土层,孔穴扩张理论适用于压缩性的土,流体稳定理论适用于饱和软黏性土,承载力理论适用于临界深度以上的贯入情况。在实际工程中,除用理论关系式把锥尖阻力与土的有关土性参数联系起来外,常用一些经验关系式把锥尖阻力与土性参数联系起来。

静力触探试验一般只适用于黏性土、粉性土和砂性土层。

静力触探应用于以下几方面:划分土层,判定土层类别,查明软、硬夹层及土层在水平和垂直方向的均匀性;评价地基土的工程特性(承载力、压缩性质、不排水抗剪强度、饱和砂土液化、砂土密实度等);探寻和确定桩基持力层、预估打入桩和沉桩的可能性及其单桩承载力;检验人工填土的密实度和地基加固效果。

2. 试验设备

静力触探试验的设备主要有:

触探主机:触探主机应能匀速的将探头垂直压入土中,贯入速率为 1.2 ± 0.3 m/min;

反力装置:反力装置,一般用地锚、压重和车辆自重提供所需的反力;

探头:探头按其结构和功能可分为单桥探头和双桥探头,单桥探头可测定比贯入阻力,双桥探头可同时测定锥头阻力和侧壁摩阻力。探头的传感器必须率定合格后才能使用,一般应每隔三个月率定一次,当探头、测量仪器出现异常,经检修以后,在继续使用前应重新率定;

探杆:探杆是用有足够强度和刚度的无缝钢管制成的,必须平直,并应经常检查其平直;

量测仪器:量测仪器主要有静态电阻应变仪、静力触探数字测力仪、自动记录仪等;

另外还需要导线、水准尺、管钳等工具。

3. 试验方法

静力触探试验方法应按一定的程序有步骤的进行,首先,静力触探试验孔位应避开地下电缆、管线及其它地下设施,当拟定孔位地面不平时,应平整场地,并根据勘探深度和地表土的性质,确定地锚的个数和排列形式,静力触探机应安装平稳,如有地锚应与地锚牢固连接。根据拟勘探地层的性质,预估静力触探贯入阻力,而后再选择分辨率合适的静力触探探头。

静力触探探头在使用前,必须取得标定的数值。静力触探量测仪器的性能应符合其使用说明书的规定。

静力触探在贯入过程中宜保持匀速贯入。在深度12 m以内,可按需要每隔2~4 m测读一次零读数,如不为零,应调整零读数;一般情况下每隔2~4 m还要核对一次记录深度和实际孔深,当有误差时,应在记录上予以注明;在贯入过程中,当改变供桥电压或出现异常情况影响正