

按最新规范编写

基础工程

侯兆霞 主编

中国建材工业出版社

基 础 工 程

侯兆霞 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

基础工程/侯兆霞主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2004.5
ISBN 7-80159-615-3

I. 基… II. 侯… III. 地基—基础 (工程)
IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 034189 号

内 容 提 要

基础工程是阐述有关建筑物地基与基础设计和施工问题的技术性学科。本书共分五章,第一章绪论,主要介绍基础工程设计与施工所需资料、基础工程设计计算原则、设计方法及基础工程学科的发展;第二章,天然地基上浅基础的设计,主要介绍刚性基础、扩展基础、条形基础的设计;第三章,桩基础,主要介绍桩基础的设计、质量检测;第四章,沉井基础和地下连续墙,主要介绍沉井的设计、施工及地下连续墙的相关内容;第五章,特殊土地基,主要介绍软土地基、黄土地基、冻土地基及地震情况下基础设计。

本书可作为土木工程类专业高校教学用书,也可作为有关工程技术人员的参考书。

基 础 工 程

侯兆霞 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街6号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 17.75

字 数: 451千字

版 次: 2004年6月第一版

印 次: 2004年6月第一次

印 数: 1~3000册

书 号: ISBN 7-80159-615-3/TU·328

定 价: 30.00元

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 68345931

前 言

基础工程是阐述建筑物或构筑物在设计计算和施工过程中有关地基与基础问题的技术性学科,是土木建筑类专业的一门主要课程。

建筑物及地基基础的安全性,取决于天然地基土的条件、基础类型以及上部结构特性。众所周知,地基基础属于地下隐蔽工程。据调查统计,在世界各国的工程事故中,由于地基基础问题而引发的工程事故最多,反映出的情况也日益复杂,而且事故一旦发生,不仅损失巨大,补救亦相当困难。发生事故的原因往往是由于设计上的失误或施工质量问题。从设计方面说,诸如忽略了岩土的物理力学性质、现实存在的复杂因素,或对简化的设计理论及计算方法应用不当等等。

为加强对基础工程学科的学习,在读者已具备土力学的基本知识的前提下,参照国家最新颁布的相关规范:《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)、《建筑桩基检测技术规范》(JGJ 106—2003)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)及近年来国家所颁布的相关规范:《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—94)、《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—99)、《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)、《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—85)、《软土地区工程地质勘察规范》(JGJ 83—91)、《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ 25—90)、《冻土地区建筑地基基础设计规范》(JGJ 118—98)等十多本现行规范和规程,我们编写了本书,以使读者通过本书的学习,了解相关规范的内容,特别是新规范的内容。本书内容涉及一般浅基础、箱形筏形基础、桩基础、桩基测试、沉井基础、地下连续墙、特殊土地基和地基处理等多方面知识,力求反映本学科国内外的新理论、新技术、新发展。着重于设计理论、设计方法、施工方法特点、处理措施及测试技术方面知识的介绍。

全书由侯兆霞主编和统稿。各章编写分工是:侯兆霞,第一章、第二章、第三章和附录;郭增强,第四章;张会银,第五章。全书由王锡朝主审。

书中对土力学中关于地基的计算方法有一些重复,使基础工程本身更为完善。因此本书可作为土木工程类专业本专科高校教学用书,也可作为函授、电大参考教材;同时本书还注重理论联系实际,因此也可作为土木工程技术人员的参考书。

在编写过程中,杨广庆老师给予了热情的支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

本书各章节参考文献较多,在此不一一列举,谨向支持本书出版的有关单位和同志致以衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中有欠妥或错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2004年5月

目 录

第一章 绪 论	1
§ 1.1 概 述	1
§ 1.2 基础工程设计与施工所需的资料	2
§ 1.3 基础工程设计计算原则、设计方法	3
§ 1.4 基础工程学科的发展概况	7
思考题	9
第二章 天然地基上的浅基础	10
§ 2.1 概 述	10
§ 2.2 浅基础的类型和基础材料	11
§ 2.3 基础埋深	16
§ 2.4 地基计算	22
§ 2.5 刚性基础设计	38
§ 2.6 扩展基础设计	45
§ 2.7 减小不均匀沉降的措施	53
§ 2.8 地基、基础与上部结构的相互作用	57
§ 2.9 柱下条形基础的设计	60
§ 2.10 筏形基础	89
§ 2.11 箱形基础简介	93
思考题及习题	98
第三章 桩基础	102
§ 3.1 概 述	102
§ 3.2 桩基的分类与选型	103
§ 3.3 单桩竖向荷载的传递	109
§ 3.4 单桩竖向承载力	118
§ 3.5 群桩竖向承载力	128
§ 3.6 桩的水平承载力和变形	132
§ 3.7 桩基承载力和沉降验算	140
§ 3.8 桩基础设计	147
§ 3.9 桩的检测验收	164
思考题及习题	184
第四章 沉井及地下连续墙	186
§ 4.1 沉井基础概述	186
§ 4.2 沉井的类型和构造	187
§ 4.3 沉井的施工	189

§ 4.4 一般沉井的设计与计算 193

§ 4.5 圆端形沉井计算实例 210

§ 4.6 地下连续墙基础 224

思考题及习题..... 228

第五章 特殊土地基..... 230

§ 5.1 概 述 230

§ 5.2 软土地基 230

§ 5.3 湿陷性黄土地基 234

§ 5.4 冻土地区基础工程 245

§ 5.5 地震区的基础工程 257

思考题及习题..... 267

附录 I 按弹性理论矩形板计算表..... 269

附录 II 集中荷载作用于梁端附近时的半无限长梁计算..... 272

主要参考文献..... 275

第一章 绪 论

§ 1.1 概 述

基础工程是阐述建筑物在设计和施工中有关地基和基础问题的技术性学科,是土木工程专业的一门主要课程。

土层受到建筑物的荷载作用后,其内部原有的应力状态就会发生变化,工程上把受建筑物影响其应力发生变化从而引起物理、力学性质发生变化的那一部分土层称为地基,即承担建筑物传来荷载的土体;基础是指建筑物向地基传递荷载的下部结构。因此,建筑物的基础位于上部结构和地基之间,其功能是把上部结构所承担的荷载分布开来并传递到地基中去。

在平原地区,由于基岩埋藏较深,地表覆盖土层较厚,因此建筑物经常建造在由土层所构成的地基上,这种地基称为土基。在丘陵地区和山区,由于基岩埋藏浅,甚至裸露于地表,因此建筑物能直接建造于基岩上,这种地基称为岩基。工程中常见的地基为土基,当地基由两层以上的土层组成时,通常将直接与基础接触的土层称为持力层;其下的土层称为下卧层。

地基与基础位于地面以下,属于隐蔽工程。它的勘察、设计和施工质量直接影响建筑物的安危,一旦发生质量事故,补救和处理往往很困难,甚至是不可能的。实践表明,许多建(构)筑物工程质量事故就是发生在地基基础问题上。如著名的意大利比萨斜塔,我国苏州虎丘塔所发生的塔身严重倾斜,就是地基不均匀沉降所致。建于 1913 年的加拿大特朗斯康谷仓(如图 1-1 所示)的破坏情况,就是由于地基强度破坏后发生整体滑动,是建筑物失稳的典型例子。该谷仓由 65 个圆柱形筒仓组成,高 31m,平面尺寸 $59.4\text{m} \times 23.5\text{m}$,片筏基础,厚 2m,埋置深度 3.6m。谷仓自重 20MN,建成后初次贮存谷物 27MN,使基底平均压力(330kPa)超过了地基的极限承载力(280kPa)。结果谷仓西侧突然陷入土中 8.8m,东侧则抬高 1.5m,仓身整体倾斜 27° 。由于谷仓整体刚度较高,地基破坏后,筒仓仍保持完好无损,无明显裂缝。事后勘察了解,基础以下埋藏有厚达 16m 的淤泥质软粘土层,谷仓加载使地基强度破坏,因而发生整体失稳。为修复筒仓,在基础下面设置了 70 多个支承于深 16m 基岩上的混凝土墩,使用了 388 个 500kN 的千斤顶,逐渐将倾斜的仓体纠正过来,修复后的位置比原来降低了 4m。

地基基础工程造价和施工工期在建筑总造价和总工期所占的比例与很多因素有关,如上部结构型式和层数、基础结构型式、地质条件、环境条件、施工的合理与否等,可以变动于百分之几到几十之间。对钢筋混凝土结构和一般地质条件而言,采用筏形基础或箱形基础,其基础工程的费用约占建筑总费用的 20%,有的甚至高达 30%,相应的施工工期约占建筑总工期的 20%~25%。一般桩基与之相近,有的稍高。

随着我国现代化建设步伐的加快,建筑规模正以前所未有的速度发展着。高层建筑、地下铁道、地下停车场、地下商场、大型水电站、水库、高速公路和铁路、海港码头等现代化设施,以及防治各种自然灾害的构筑物比比皆是。这些建筑物不但要建在良好的基础上,而且还应满足一些新的更严格的要求。首先,我国的人均土地资源有限,特别是耕地面积逐年减少,必须充分利用各种不良地基,不占或少占耕地,最大限度地提高土地利用效率,因此我们所面临的建

筑物地基越来越复杂。其次,建筑物向高、大、重方向发展,对地基与基础工程的承重、沉降、变形控制越来越严格,基础的型式规模不同于以往,例如桩基和地下连续墙越做越深、越做越大;另外,人们对环保的要求越来越严,对控制环境污染(泥浆、噪音、振动)的要求越来越高,而对施工的工期则要求越来越短。这些都使地基基础工程在社会发展中占有越来越重要的地位,因而,地基基础工程设计要求和施工技术难度均会进一步提高。

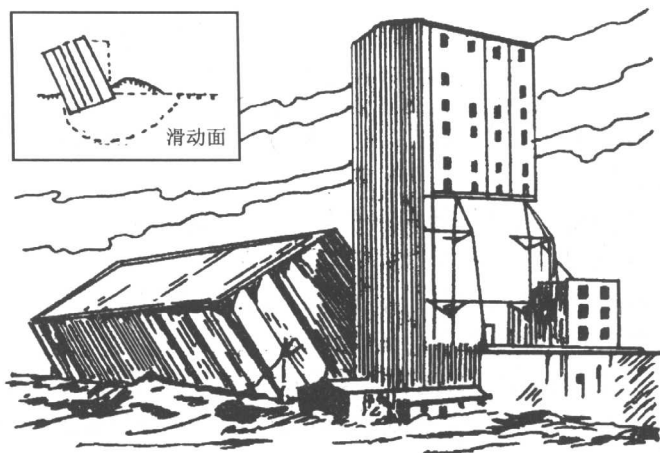


图 1-1 加拿大特朗斯康谷仓的地基事故

§ 1.2 基础工程设计与施工所需的资料

基础工程应严格遵循基本建设的原则,按照勘察、设计、施工的先后顺序,抓好各个环节。其设计与施工应具备以下资料。

一、岩土工程勘察资料

(1)按照现行《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)要求整理的工程地质报告和图件,对复杂的特殊性基础,勘察中勘探点的间距及勘探深度应满足其特殊的要求;

(2)满足承载力极限状态和正常使用极限状态设计所需的岩土物理力学性质指标值及其他设计参数;

(3)对建筑物场地不良的地质现象,如特殊性土、滑坡、崩塌、泥石流、岩溶、土洞等,有明确的判断、结论和防治措施及方案;

(4)必要的水文地质资料,如已确定和预测的地下水位及地下水化学分析报告;

(5)现场或其他可供参考的资料及附近类似基础工程的经验资料;

(6)抗震设防区按设防烈度提供的液化地层资料;

(7)有关地基土冻胀性、湿陷性、膨胀性资料。

二、建筑场地与环境条件的有关资料

(1)建筑场地的平面图,包括交通设施、高压架空线、地下管线电缆、地下建筑物的分布;

(2)相邻建筑物的安全等级、基础型式及埋置深度,特别是对附近危房、精密仪器设备间的调查资料;

- (3)水、电及有关建筑材料的来源、质量和供应条件;
- (4)周围建筑物及边坡的防震、防噪音的要求;
- (5)可用施工场地大小,污泥、污水的排泄及弃土条件;
- (6)为保证工程质量、安全生产所需的气象资料(冬季、雨季),以及对安全、劳动保护、防火、防雨、防台风、爆破作业、文物和环境保护的有关要求或规章制度等。

三、建筑物的有关资料

- (1)建筑物的总平面布置图;
- (2)建筑物的结构类型、荷重及建筑物的使用或生产设备对基础竖向及水平位移的要求;
- (3)建筑物的设计安全等级;
- (4)建筑物的抗震设防烈度和建筑(抗震)类别。

四、施工条件的有关资料

- (1)主要施工机械及其配套设备的技术性资料;
- (2)附属施工条件、动力条件以及施工设备对地质条件的适用性;
- (3)施工机械设备的进出场及现场运行条件。

五、其他有关资料

供设计比较用的各种基础型式及其实施的技术指标、经济指标、工期长短等其他的可行性指标。

§ 1.3 基础工程设计计算原则、设计方法

建筑物的上部结构、基础、地基三部分虽然功能各异,却构成了一个既相互制约又共同工作的整体,合理的分析方法应同时考虑静力平衡和变形协调原则,即共同作用的分析方法。由于目前共同作用的研究与实用设计尚有一段距离,所以在现阶段采用的常规设计方法中仍是将上部结构、基础、地基三部分分开,按照静力平衡的原则分别采用不同假定进行分析计算。但在设计中已引入了共同作用研究的部分成果。

地基基础的设计,必须坚持因地制宜、就地取材的原则。根据工程地质勘察资料,综合考虑结构类型、材料供应与施工条件等因素,精心设计,以保证建筑物的安全和正常使用。

为保证建筑物的正常使用,地基基础设计计算原则需满足两个基本条件:①强度条件,即要求作用于地基上的荷载不超过地基承载能力,以保证地基在防止整体失稳方面有足够的安全储备;②变形条件,即控制基础的沉降和变形不超过允许值。

随着技术科学的发展,为与国际上建筑物及基础工程设计标准接轨,我国目前新制定的许多工程设计规范规定:“建筑物采用以概率理论为基础的极限状态设计方法”,以便在建筑设计上做到技术先进、经济合理、安全适用。概率极限状态设计法是以失效概率或结构(地基)的可靠度指标代替以往的安全系数。

一、结构可靠度和极限状态设计

结构的工作状态可以用荷载效应 S (指荷载在结构或构件内引起的内力或位移等)和结构

抗力 R (指抵抗破坏或变形的能力) 的关系描述, 令

$$Z = R - S \tag{1-1}$$

称 Z 为功能函数。显然, 当

$Z > 0$ 或 $R > S$ 时, 结构处于可靠状态;

$Z < 0$ 或 $R < S$ 时, 结构处于失效状态;

$Z = 0$ 或 $R = S$ 时, 结构处于极限状态。

由于影响荷载效应和结构抗力的因素很多, 各个因素又有许多不确定性, 都是一些随机变量, R 和 S 自然也是随机变量。最简单的情况是假定 R 和 S 的概率分布为正态分布, 则按概率理论, 功能函数 Z 也是正态分布的随机变量,

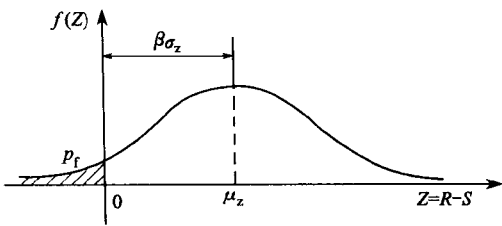


图 1-2 功能函数的概率分布

可用图 1-2 表示。图中 $f(Z)$ 为 Z 的概率密度函数; μ_z 为 Z 的平均值, σ_z 为 Z 的标准差; p_f 为曲线下的阴影面积与总面积之比, 称为失效概率; β 值则称为结构可靠性指标。如果能对荷载效应和结构抗力进行概率分析, 从而确定功能函数的平均值 μ_z 和标准差 σ_z , 就可求得概率密度函数 $f(Z)$, 从而计算 Z 的失效概率 p_f 和结构可靠性 β 。用 p_f 或 β 来评价结构的可靠性比单一安全系数更为合理。但由于影响 R 和 S 的因素很多, 且缺乏统计资料, 当前直接用概率分析方法计算结构的可靠度还较困难, 于是只能采用较为实用的极限状态设计方法。这种方法要求结构物必须满足如下两种极限状态的要求:

(1) 承载力极限状态

这是结构安全功能的要求, 即让结构发挥其最大限度的承载能力, 荷载效应超过此限度, 结构或构件即发生强度破坏, 或者丧失稳定。

(2) 正常使用极限状态

这是结构物的使用功能要求, 例如变形量超过某一限度, 就会影响结构物的正常使用和建筑外观。

考虑可靠性的要求, 在进行极限分析时, 荷载效应中应对标准荷载乘以分项系数和组合系数作为设计值, 在抗力中, 应对强度的标准值乘以分项系数作为设计值。这些系数, 一般都是分别考虑了各个参数的离散性, 根据概率统计得出的, 所以这种状态的设计是建立在概率理论基础上的极限状态设计。

二、地基的极限状态设计

地基、基础和上部结构是建筑物中缺一不可的组成部分, 显然应该在统一的原则下, 用同一方法进行设计。但是地基土与基础和上部结构又是两种性质完全不同的材料, 各有其特殊性, 应该在设计方法中得到反映。例如上部结构构件和基础的刚度远比地基土层的刚度大, 在荷载作用下, 基础及上部结构构件在强度破坏时变形并不大, 而地基土则相反, 往往产生很大的变形但却不容易丧失稳定。因此地基的极限设计也必须要反映自身的这一特点。

根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002), 为保证建筑物的安全使用, 地基必须满足两种极限状态的要求, 即:

(1) 承载力极限状态

表示为
$$p_k \leq f_a \tag{1-2}$$

式中 p_k ——荷载效应标准组合时, 基础底面处的平均压力设计值 (kPa);

f_a ——修正后的地基承载力特征值(kPa)。

(2)正常使用极限状态

表示为

$$s \leq [s] \quad (1-3)$$

式中 s ——建筑物地基的变形(在 s 的计算中,采用准永久荷载组合,不计入风荷载和地震荷载等);

$[s]$ ——建筑物地基的变形允许值。

表面上看,地基的极限状态设计与结构物的极限状态设计完全相同。首先满足承载力极限状态,保证地基的稳定;其次满足正常使用极限状态,符合变形要求。但是,从已有大量的地基事故分析表明,绝大多数事故是由于地基变形过大且不均匀所造成的。根据地基载荷试验和地基承载力理论可知,随着荷载的增加,地基先产生压密,再产生局部剪切,最后产生整体剪切破坏。而且代表压密变形阶段的界限压力,即临界荷载 p_a 远小于整体剪切破坏的极限荷载 p_u 。这就是说,地基在充分发挥其承载力以前,通常都产生较大的变形,影响建筑物的正常使用,即地基设计实质上受变形控制。

而且式(1-2)中承载力设计值的含义,也与材料强度计算值的内涵完全不一样。首先,地基土体的承载能力 f_a 值不是土的强度,其值不仅与土的性质有关,而且与荷载的分布范围以及作用的深度等因素有关;其次, f_a 值在很大程度上仍然是反映建筑物对变形的限制,因为地基发生失稳破坏的情况极为少见。

对于必须按式(1-3)验算变形的重要建筑物,验算式(1-2)的实质是控制地基内不要出现过大的塑性区,以免变形迅速发展,导致地基失稳。对于不必按式(1-3)验算变形的一般建筑物,验算式(1-2)实质上是以满足式(1-3)的要求为前提的。由此可见,地基的极限状态分析,实际上是以验算变形为核心的分析,这点与结构的极限分析有所不同。

三、相关概念

1. 术语和定义

(1)永久荷载(permanent load):在结构使用期间,其值不随时间变化,或其变化与平均值相比可以忽略不计,或其变化是单调的并能趋于限值的荷载。例如结构自重、土压力、预应力等。

(2)可变荷载(live load):在结构使用期间,其值随时间变化,且其变化与平均值相比不可忽略不计的荷载。例如建筑物楼面活荷载、屋面活荷载、风荷载、雪荷载等;桥梁桥面的汽车荷载、风荷载、雪荷载等。

(3)设计基准期(design reference period):为确定可变荷载代表值而选用的时间参数。

(4)荷载效应(load effect):由荷载引起结构或结构构件的反应,例如内力、变形和裂缝。

(5)标准值(characteristic value):荷载的基本代表值,为设计基准期内最大荷载统计分布的特征值。例如均值、众值、中值或某个分位值。

(6)组合值(combination value):对可变荷载,使组合后的荷载效应在设计基准期内的超越概率(类似失效概率),能与该荷载单独出现时的相应概率趋于一致的荷载值;或使组合后的结构具有统一规定的可靠指标的荷载值。

(7)准永久值(quasi-permanent value):对可变荷载,在设计基准期内,其超越的总时间约为设计基准期一半的荷载值。

(8)基本组合(fundamental combination):承载力极限状态计算时,永久作用与可变作用

的组合。

(9)标准组合(characteristic combination):正常使用极限状态计算时,采用标准值或组合值为荷载代表值的组合。

(10)准永久组合(quasi-permanent combination):正常使用极限状态时,对可变荷载采用准永久值为荷载代表值的组合。

(11)荷载设计值(design value of load):荷载代表值与荷载分项系数的乘积。荷载代表值为设计中用以验算极限状态所采用的荷载量值,例如标准值、组合值、准永久值。

2. 荷载组合

(1)正常使用状态下,荷载效应的标准组合 S_k 由下式表达

$$S_k = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik} \tag{1-4}$$

(2)正常使用极限状态下,荷载效应的准永久组合 S_k 由下式表达

$$S_k = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik} \tag{1-5}$$

(3)承载能力极限状态下,永久荷载控制的基本组合,采用简化规则,荷载效应基本组合设计值 S 表达为

$$S = 1.35 S_k \tag{1-6}$$

(4)承载能力极限状态下,可变荷载控制的基本组合设计值 S 表达为

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik} \tag{1-7}$$

式中 S_k ——荷载效应的标准组合值;

S ——荷载效应的基本组合值;

S_{Gk} ——按永久荷载标准值 G_k 计算的荷载效应值;

S_{Qik} ——按可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值;

ψ_{ci} ——可变荷载 Q_i 的组合系数,按《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)的规定取值;

ψ_{qi} ——准永久值系数,按《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)的规定取值;

γ_G ——永久荷载的分项系数,当其效应对结构不利时:永久荷载控制的组合 $\gamma_G = 1.35$,可变荷载控制的组合 $\gamma_G = 1.2$;当其效应对结构有利时:一般情况下 $\gamma_G = 1.0$,对结构进行抗覆、抗滑移或抗浮验算 $\gamma_G = 0.9$;

γ_{Qi} ——可变荷载的分项系数,一般情况下 $\gamma_{Qi} = 1.4$,对标准值大于 4kN/m^2 的工业厂房楼面结构的活荷载 $\gamma_{Qi} = 1.3$ 。

3. 地基基础设计时所采用的荷载效应最不利组合与相应的抗力限值规定

(1)按地基承载力确定基础底面积及埋深或按单桩承载力确定桩数时,传至基础或承台底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合。相应的抗力应采用地基承载力特征值或单桩承载力特征值。

(2)计算地基变形时,传至基础底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合,不应计入风荷载和地震作用。相应的限值应为地基变形允许值。

(3)计算挡土墙土压力、地基或斜坡稳定及滑坡推力时,荷载效应应按承载能力极限状态下荷载效应的基本组合,但分项系数均为 1.0。

(4)在确定基础或桩台高度、支挡结构截面、计算基础或支挡结构内力、确定配筋和验算材料强度时,上部结构传来的荷载效应组合和相应的基底反力,应按承载力极限状态下荷载效应的基本组合,采用相应的分项系数。

当需要验算基础裂缝宽度时,应按正常使用极限状态荷载效应标准组合。

(5)基础设计安全等级、结构设计使用年限、结构重要性系数应按有关规范的规定采用,但重要性系数 γ_0 不应小于 1.0。

§ 1.4 基础工程学科的发展概况

基础工程既是一项古老的工程技术,又是一门年青的应用科学。

追本溯源,我国古代的劳动人民,在史前的建筑活动中,就已创造了自己的地基基础工艺,我国西安半坡村遗址和殷墟遗址的考古发掘,都发现有土台和石基。历代修建的无数建筑物更是出色地体现了我国古代劳动人民在地基基础工程方面的高超水平。举世闻名的长城、大运河,蜿蜒万里,穿越各种地质条件的广阔地区,而被誉为亘古奇观;宏伟壮丽的宫殿寺院,依靠精心设计建造的地基基础,逾千百年而留存至今;遍布各地的巍巍高塔,由于奠基牢固,历多次强风强震的考验而安然无恙。

例如,隋朝石匠李春所修建的赵州石拱桥,不仅因其建筑与结构设计的成就而著称于世,论及其地基基础的处理也是颇为合理的。他把桥台砌筑于密实粗砂层上,一千四百年来估计沉降仅约几厘米。现在验算其基底压力约为 500~600kPa,这与用现代土力学理论方法给出的承载力值很相近。而北宋初著名木匠喻皓(989)在建造开封开宝寺木塔时,考虑到当地多西北风,便特意使建于饱和土上的塔身稍向西北倾斜,设想在风力的长期作用下可以渐趋复正。可见,古人在实践中早已试图解决建筑物地基的沉降问题了。

我国古代劳动人民的无数地基基础实践经验,都是集中体现于能工巧匠的高超技艺,但是由于当时生产力发展水平的限制,还未能提炼成为系统的科学理论。

作为本学科理论基础的土力学的发端,18 世纪始于欧洲。随着当时资本主义工业化的发展,为满足向内外扩张市场的需要,陆上交通进入了所谓“铁路时代”。因此最初有关土力学与地基基础的个别理论多与解决铁路路基问题有关。在经历了一个多世纪的发展后,太沙基(K. Terzaghi)等学者归纳发展了以往的成就,于 1925 年和 1929 年分别发表了《土力学》和《工程地质学》,这些比较系统完整的科学论著出现,带动了本学科各个方面的探索与发展。因此,土力学与地基基础就作为独立的学科而取得不断的进展。从 1936 年召开第一届国际土力学及地基基础会议起,世界各国不断开展此类活动,交流和总结本学科新的研究成果和实践经验。

我国从 1962 年开始全国土力学与基础工程学术讨论会定期召开,各种基础工程技术专题讨论会也随时召开,进行技术交流。我国在土力学与基础工程各个领域的新理论、新技术、新材料、新工艺都有探索与创新。特别是近 20 年来,由于工程建设规模迅速扩大,各类建筑物的大量兴建,带动了基础工程技术的全面发展,使我国在某些领域已达国际先进水平。以下就相关内容做简要介绍:

一、在基础设计理论与方法方面

一改过去单一的“安全系数”法,实现与国际标准接轨,地基基础设计采用以概率理论为基

基础的极限状态设计方法。对高层建筑基础计算,考虑上部结构、基础和地基三者共同作用相互协调的概念。在上部结构对地基变形的调整作用;基础反力分布;基础梁板计算方法方面进行了更多的研究与探讨,并将一些成熟的研究成果引入到设计中来,使设计更加先进、可靠、合理。

今后地基基础设计理论与方法的研究将会侧重于以下几个方面:

(1)发展地基基础变形计算的理论与方法,注重计算参数、计算模型的可行性与合理性,继续研究地基、基础和上部结构相互作用及其计算方法,发展变形控制设计理论与方法。

(2)研究桩-土-承台相互作用,发展复合桩基设计理论与方法。研究各类复合地基的性状,改进复合地基承载力和变形计算。

(3)研究各种土质中各类支护结构的土压力及支护体系的变形与破坏机理,改进支护设计方法。

(4)注重工程观测数据的系统积累,发展反分析,不断改进设计计算理论与方法。

(5)扩大电子计算机在基础工程中的应用,开发基础工程的系列 CAD 软件,提高设计水平与效率。

二、在基础类型方面

除常见的一般建筑物的基础型式外,不断产生开发新的基础类型,以适合建筑物各种功能的要求。20 世纪 70 年代前后,高层建筑上部主要为剪力墙结构,地下主要为箱基。随着我国现代化建设的不断深入,地下空间的利用使高层建筑基础的型式和功能有了较大的变化。过去常见的箱形基础为框架-厚筏基础或厚筏-桩基础所代替,地下建筑面积极大地超过了高层建筑的投影面积。出现了在大量地下建筑上建造一个或多个层数不等的建筑群。

对沉井基础,初期多用于铁路和桥梁工程基础,随后在水工结构,特别是市政工程、排水泵站中多有应用。而目前逐渐应用于土木工程各个领域,且型式多样。

地下连续墙向深、大方向的发展,使得其由过去的单纯基坑支护作用变为支护与工程墙、柱结合使用,具有挡土、抗渗和承重三种功能,常用于兼作高层建筑逆做法施工的外墙;亦有采用排桩式连续墙与地下室墙、柱结合使用,挡土桩兼作承重结构替代边柱和部分墙使用。支护与基础型式合二为一,这种复合结构在工程上经常得到应用,收到较好的技术经济效益。

三、在桩基础技术方面

桩基础是我国应用最广的一种基础型式,仍然是高层、重载结构支承的主要方式,也是实现基础工程施工现代化的方向。我国每年桩的使用量超过百万根。以往的桩基础多为中、小型桩,随着混凝土强度的提高、预应力技术的发展,施工技术、施工工艺、施工机具的创新或更新,预制混凝土方桩和沉管灌注桩已部分地为高强预应力混凝土管桩所代替。发展最快、适用范围最广的灌注桩目前已形成挤土、部分挤土、非挤土三大类,几十种桩型和成桩工艺,且灌注桩的桩径越来越大,最大达到了 3m 以上,桩长可做到 100m 以上,承载力 10000kN 以上。

复合桩基和桩复合地基是桩基础发展的趋势。复合桩基的核心思想是按变形控制来设计桩基础;而桩复合地基更加追求经济效益,桩体材料可以因地制宜采用当地材料或工业废料,例如粉煤灰、矿渣、电石渣等,根据单桩承载力的要求,制成相应的低强度等级桩体,使桩身材料强度与土对桩的阻力相当,充分利用桩身材料强度。

四、在桩的测试技术方面

桩的测试技术,近十几年来,取得了较大进步,过去桩的测试主要沿用静载试验,试验设备笨重、复杂,装卸、操作费工费时,试验费用高,测试数量有限,且易破坏桩基。近年来大力发展了各种动测法(动力参数法、机械阻抗法、水电效应法、反射波法、声波投射法等)作为静载试验的补充,在国内得到广泛应用。动测法是借助电子检测仪器与结构动力分析相结合,应用物体振动波的传播理论对桩进行承载力的确定以及检验工程桩桩身的完整性。它使用的仪器轻便灵活,检测快速(单桩测试时间仅为静载试验的 $1/50$ 左右),数量多,不破坏桩基,相对准确,便于进行普查,费用低(为静载试验的 $1/30$ 左右)。据统计,国内用动测法试桩的工程已占全部工程结构基础的 70% 以上,试桩数量约占全部试桩数的 90% ,有效地填补了静载试验的不足,满足了桩基工程发展的需要,具有显著的社会经济效益。2003 年建设部还修定和颁发了《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2003),对桩的动测发展将起到规范、指导和推动作用。

五、在区域性土的工程方面

我国区域辽阔,各类土质分布十分复杂,有沿海面积很大的软土地区,还有冻土、黄土、膨胀土、岩溶、液化土地基等。从 20 世纪 50 年代起,国家各部委就对各种特殊性土进行了大量的研究,并取得了大量的试验资料和研究成果,不断制定、修定相应的设计施工规范。随着西部大开发的进程,在建的青藏铁路以及拟将修建的京沪高速铁路、南水北调工程,使得区域性土的利用、处理与研究必将有更大的发展,将特殊性土的基本性质问题的探讨引向深入。

思 考 题

- 1-1 基础工程设计与施工应具备哪些资料?
- 1-2 地基基础设计计算原则是什么?
- 1-3 结构的极限状态设计是什么?
- 1-4 什么是荷载效应、标准值、组合值、准永久值、设计值?
- 1-5 什么是标准组合、基本组合、准永久组合?
- 1-6 试关注与结合国内外最新的土木工程发展及当前重大工程的建设,畅谈自己今后的打算与发展。

第二章 天然地基上的浅基础

§ 2.1 概 述

在建筑物的设计和施工中,地基和基础占有很重要的位置,它对建筑物的安全使用和工程造价有着很大的影响,因此正确选择地基基础的类型十分重要。在选择地基基础类型时,应考虑三个方面的因素:一是建筑物的性质(包括它的用途、重要性、结构型式、荷载性质和荷载大小等);二是地基的地质情况(包括建筑场地和地基的土层分布、土的性质和地下水等);三是施工情况(包括施工条件、施工技术、施工设备、工期、造价等)。在综合考虑这三方面因素的基础上,合理选择地基基础方案,因地制宜、精心设计,以保证建筑物的安全和正常使用。

地基分天然地基和人工地基两类。如果地基内部是良好的土层或者上部有较厚的良好土层时,一般将基础直接做在天然土层上,这种地基叫做“天然地基”,如图 2-1(a)所示。如果地基上部或内部为软弱土层(通常承载力低于 100kPa 的土层),加固地基上部土层,提高土层的承载力,再把基础做在这种经过人工加固后的土层上,这种地基叫做“人工地基”,如图 2-1(b)所示。

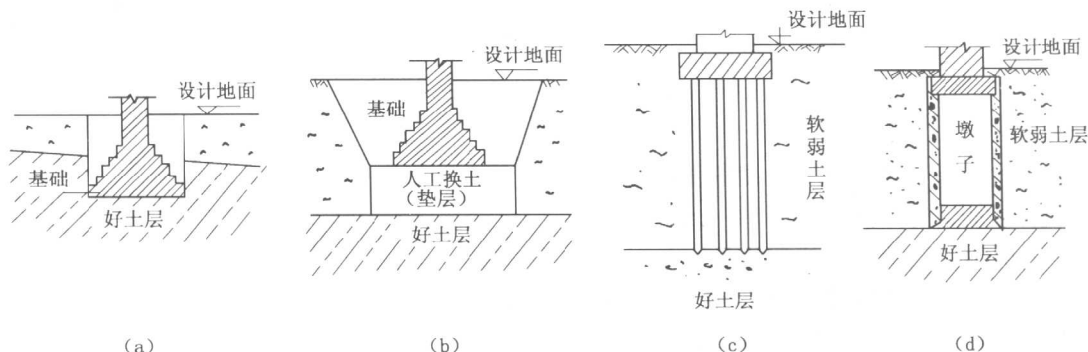


图 2-1 地基基础类型

基础按照埋置深度和施工方法的不同又分为浅基础和深基础两类。做在天然地基上,埋置深度小于 5m 的一般基础(柱基和墙基)以及埋置深度虽超过 5m,但小于基础宽度的大尺寸的基础(如筏形基础、箱形基础),在计算中基础的侧面摩擦力不必考虑,统称为天然地基上的浅基础,图 2-1(a)所示。当基础的埋深超过某一值,且需借助特殊的施工方法才能将建筑物荷载传递到地表以下较深土(岩)层的基础称为深基础,深基础,如图 2-1(c)、(d)所示,包括桩基础、墩基础和沉井基础及地下连续墙。

天然地基上的浅基础通常是施工方便,技术简单,造价经济的方案;而人工地基及深基础往往造价较高,施工也比较复杂。因此在保证建筑物安全和正常使用的前提下,应首先考虑选用天然地基上浅基础方案。同样在浅基础的方案选择和设计时,应优先考虑天然地基上不大的或简单的浅基础,例如沿墙或逐柱设置的刚性基础、扩展基础等。因为这类基础埋置不深,用料较省,

无需复杂的施工设备,在开挖基坑、必要时支付坑壁和排水疏干后,地基不加处理即可修建,因而工期短、造价低。仅当这类基础难以适应较差的地基条件或上部结构的荷载、构造及使用要求时,才考虑采用大型或复杂的浅基础(例如沿柱列或在整个建筑物下设置的连续基础)。如果天然地基上的浅基础不能满足工程的要求,或者经过周密比较以后认为不经济,才考虑采用其他类型的地基基础。用人工地基、桩基础或深基础,要根据建筑物地基的地质和水文地质条件,结合工程的具体要求,通过方案比较选定。本章主要讨论天然地基上浅基础的设计问题。

常见的浅基础(如刚性基础、扩展基础)体型不大,结构简单,在设计单个基础时,一般既不遵循上部结构与基础的变形协调,也不考虑地基与基础的相互作用,这种浅基础的简化设计称为“常规设计”。至于复杂的、大型的基础,其力学性状复杂,宜在常规设计的基础上,区别情况采用目前可行的方法考虑地基、基础以及上部结构的相互作用。

设计浅基础应处理的问题和具体步骤为:

(1)充分掌握拟建场地的工程地质条件和地基勘察资料,进行相应的现场勘察和调查。

例如:不良地质现象和发震断层的存在及其危害性、地基土层分布的均匀性和软弱下卧层的位置和厚度、各层土的类别及其工程特性指标。地基勘察的详细程度应与工程重要性等级、场地复杂程度等级和地基复杂程度等级相适应。

(2)选择建筑材料和地基处理方法。

了解当地的建筑经验、施工条件和就地取材的可能性,并结合实际考虑采用先进的施工技术和经济、可行的地基处理方法。

(3)选择基础的结构类型和持力层,决定合适的基础埋置深度。

在研究地基勘察资料的基础上,结合上部结构的类型,荷载的性质、大小和分布,建筑布置和使用要求以及拟建的基础对原有建筑或设施的影响,从而考虑选择基础类型和平面布置方案,并确定地基持力层和基础埋置深度。

(4)确定基础尺寸,进行地基计算。

按地基承载力和作用在基础上的荷载,计算基础底面的初步尺寸。进行包括地基持力层和软弱下卧层(如果存在)的承载力验算以及按规定需要进行的变形验算。根据验算结果修改基础尺寸,以便使地基的承载力能得到充分的保证,使地基的变形不致引起结构损坏、建筑物倾斜与开裂,或影响其使用和外观。

(5)进行基础的结构和构造设计。

以简化的、或考虑相互作用的计算方法进行基础结构的内力分析和截面设计,并满足相应设计规范的构造要求,以保证基础具有足够的强度、刚度和耐久性。

(6)绘制基础的设计图和施工详图,编制工程预算书和工程设计施工说明书。

上述各方面密切相关,互相制约。不可能一次考虑周详。因此地基基础设计工作往往要反复进行才能取得满意的结果。对规模较大的基础工程,还宜对若干可能方案做出技术经济比较,然后择优采用。

§ 2.2 浅基础的类型和基础材料

一、浅基础的类型

基础的作用就是把建筑物的荷载安全可靠地传递给地基,保证地基不会发生强度破坏或