

# 基础 工程

孙 兵 何 强 / 主编

J ICHU  
GONGCHENG



电子科技大学出版社

# 基础工程

---

孙 兵 何 强 / 主编



电子科技大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

基础工程 / 孙兵, 何强主编. — 成都: 电子科技大学出版社, 2017.7

ISBN 978-7-5647-4686-5

I. ①基… II. ①孙… ②何… III. ①地基—基础 (工程)—高等学校—教材 IV. ① TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 143164 号

## 基础工程

孙 兵 何 强 主编

策划编辑 罗 雅

责任编辑 唐祖琴

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051

主 页 [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 成都市火炬印务有限公司

成品尺寸 185mm×260mm

印 张 12

字 数 308 千字

版 次 2017 年 7 月第一版

印 次 2017 年 7 月第一次印刷

书 号 ISBN 978-7-5647-4686-5

定 价 42.00 元

版权所有 侵权必究

# 前 言

基础工程是高等院校土木工程专业的主要专业基础课之一,其课程设计是该课程的实践教学环节,目的是培养学生运用基础工程中所学的知识,并结合之前所学专业课程的知识,进行基础设计和计算,以期更好地达到课程设计的目的,培养土木工程专业人才的应用能力。这对我国新型工程科技人才的培养和推进工程教育有着重要作用。

基础工程技术需要解决的主要问题包括地基基础选型、地基基础设计参数确定、基础结构内力分析方法、基础结构可靠性设计、天然地基不满足的地基处理技术、基础施工的基坑支护等。

本教材主要包括以下八章:第一章绪论、第二章浅基础、第三章连续基础、第四章桩基础、第五章地基处理、第六章挡土墙、第七章沉井基础及地下连续墙、第八章基坑工程,本书内容实践性强,涉及领域广泛。

本教材系统介绍了基础工程的基本知识和基本理论,科学规范地反映了现阶段基础工程施工水平,条理清晰,重点突出,语言精练,图文并茂,注重工程教育与实践应用,具有较强的指导性和可操作性,积极培养学生实践能力与创新精神,使学生了解和掌握现行规范体系,加强基础工程理论与应用研究,具备运用专业知识分析和解决工程实际问题的能力,努力培养具备世界眼光的卓越工程师。

本教材在编写过程中参考了许多文献资料,再次对各位作者表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中还存在的不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....                | 1  |
| 第一节 概述 .....                | 1  |
| 第二节 基础工程的重要性 .....          | 2  |
| 第三节 基础工程的特点及学习方法 .....      | 3  |
| 第四节 基础工程设计计算原则、设计方法 .....   | 4  |
| 第五节 基础工程的发展概况 .....         | 8  |
| 第二章 浅基础 .....               | 10 |
| 第一节 概述 .....                | 10 |
| 第二节 浅基础的类型与方案选择 .....       | 14 |
| 第三节 地基承载力容许值的确定 .....       | 21 |
| 第四节 基础底面尺寸的确定 .....         | 29 |
| 第五节 扩展基础设计 .....            | 35 |
| 第六节 联合基础设计 .....            | 42 |
| 第七节 防止或减轻不均匀沉降危害的措施 .....   | 45 |
| 第三章 连续基础 .....              | 50 |
| 第一节 概述 .....                | 50 |
| 第二节 地基、基础与上部结构相互作用的概念 ..... | 50 |
| 第三节 柱下条形基础 .....            | 54 |
| 第四节 柱下交叉条形基础 .....          | 59 |
| 第五节 筏形基础 .....              | 63 |
| 第六节 箱形基础 .....              | 66 |
| 第四章 桩基础 .....               | 75 |
| 第一节 概述 .....                | 75 |
| 第二节 桩基础及桩的分类与选型 .....       | 77 |
| 第三节 桩基础质量检验 .....           | 84 |
| 第四节 桩的平面布置原则 .....          | 87 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 第五节 桩与桩基础的构造 .....          | 88         |
| 第六节 桩基础设计 .....             | 92         |
| 第七节 桩承台的设计计算 .....          | 102        |
| <b>第五章 地基处理 .....</b>       | <b>108</b> |
| 第一节 概述 .....                | 108        |
| 第二节 预压法 .....               | 111        |
| 第三节 垫层法 .....               | 114        |
| 第四节 化学固化法 .....             | 117        |
| 第五节 水泥土搅拌法 .....            | 122        |
| 第六节 振冲法 .....               | 125        |
| <b>第六章 挡土墙 .....</b>        | <b>131</b> |
| 第一节 概述 .....                | 131        |
| 第二节 挡土墙的类型 .....            | 131        |
| 第三节 重力式挡土墙 .....            | 134        |
| 第四节 扶壁式挡土墙 .....            | 139        |
| 第五节 悬臂式挡土墙 .....            | 141        |
| <b>第七章 沉井基础及地下连续墙 .....</b> | <b>145</b> |
| 第一节 概述 .....                | 145        |
| 第二节 沉井类型和构造 .....           | 146        |
| 第三节 沉井设计与计算 .....           | 148        |
| 第四节 沉井的施工 .....             | 158        |
| 第五节 地下连续墙 .....             | 165        |
| <b>第八章 基坑工程 .....</b>       | <b>170</b> |
| 第一节 概述 .....                | 170        |
| 第二节 支护结构的类型及特点 .....        | 172        |
| 第三节 支护结构上的荷载 .....          | 177        |
| 第四节 基坑的稳定验算 .....           | 179        |
| 第五节 基坑现场监测 .....            | 181        |
| <b>参考文献 .....</b>           | <b>186</b> |

# 第一章 绪 论

## 第一节 概 述

“万丈高楼平地起”,任何建(构)筑物的全部荷载都由它下面的地层(土层或岩层)来承担。其中,地基是指支撑建(构)筑物荷载并受其影响的那一部分地层;基础是指将建(构)筑物荷载传递到地基上的结构组成部分(见图 1-1)。对某一建筑物而言,地表以上的部分称为上部结构,地基和基础属于下部结构。

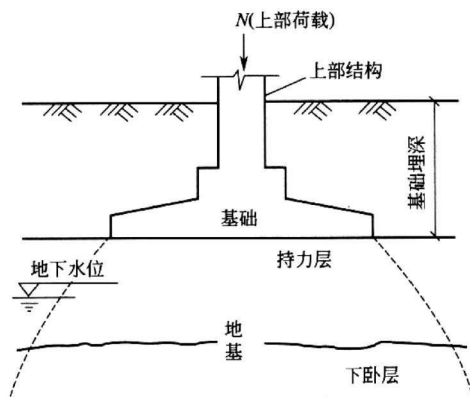


图 1-1 地基与基础示意图

基础工程的研究对象包括地基和基础两部分,主要是研究下部结构设计以及下部结构与岩土相互作用共同承担上部荷载而产生的各类变形与稳定问题。基础工程的主要内容包括地基基础的设计、施工和监测等。其中,基础设计包括选择基础类型、确定基础埋深及基底面积、基础内力计算和结构设计等;地基设计包括确定地基承载力、进行地基变形和稳定计算等。当地基承载力不足或压缩性很大而不能满足设计要求时,需要对地基进行人工处理即地基处理。

为了保证上部结构的安全和正常使用,地基基础必须具有足够的强度和耐久性,变形也应控制在允许范围之内。地基基础的形式很多,设计时应根据工程地质条件、上部结构要求、荷载作用及施工技术等因素综合选择合理的设计方案。

地基可分为天然地基和人工地基。无须人工处理就可满足设计要求的地基称为天然地基。如果天然土层不能满足工程要求,必须经过人工加固处理后才能满足设计要求,则处理后的地基称为人工地基。建(构)筑物应尽量修建在良好的天然地基上,以减少地基处理的费用。另外,主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层构成的地基属于软弱地基,软弱地基必须经过地基处理后方可作为建(构)筑物的地基。

地基一般由多层土构成。如图 1-1 所示,直接承担基础荷载的地层称为持力层,位于

持力层以下,并处于压缩层或可能被剪损深度内的各层地基土称为下卧层,当下卧层的承载力显著低于持力层时称为软弱下卧层。

根据埋置深度,基础可分为浅基础和深基础两大类。浅基础一般是指埋置深度不大(小于或相当于基础底面宽度,一般认为小于5 m)的基础。深基础是指埋深较大(一般大于5 m或借助于特殊方法才能施工)的基础。常见的深基础有桩基、沉井、沉箱和地下连续墙等。当浅层土质不良,需要利用地基深部较为坚实的地层作为持力层时可采用深基础。与浅基础相比,深基础耗料多、施工时需要专门的设备、施工技术相对复杂、造价较高。因此,基础设计时应优先考虑天然地基上的浅基础。

地基基础是建(构)筑物的根基,它的设计和施工质量会直接影响上部结构的安危。基础工程还属于隐蔽工程,如有缺陷,较难发现,一旦出现问题,很难补救。此外,随着高层建筑的大量涌现,基础工程的造价在整个建筑物造价中所占的比例明显上升。因此,工程实践中必须严格遵守基本建设原则,对基础工程做到精心设计、精心施工,确保其安全可靠、经济合理。

## 第二节 基础工程的重要性

基础支承上部结构荷载并将其传递给地基,起到承上启下的作用。基础工程是整个建筑工程中的一个重要组成部分,是建筑物的根基。大量事实表明,在土木工程失事案例中,地基基础问题占很大的比例,且事故一旦发生,进行补救相当困难。

一些国际上有名的基础工程失败事例应引以为戒。如图1-2所示为巴西一幢11层大厦因严重倾斜而倒塌。该大厦始建于1955年,1958年初建成时发现有明显沉降。还未来得及采取加固措施,即于当年1月30日晚发生整体倒塌。事后经调查,地基为较厚的软弱黏土和泥炭层,21 m长的桩未能达到较好的持力层,由于地基承载力不足而发生毁灭性破坏。1173年建造的意大利比萨斜塔(见图1-3),塔高58 m。该塔建至第二层时发生倾斜。停工近100年后又续建,仍不断倾斜。至上世纪末,该塔的总沉降量已达3 m多,塔顶水平偏移5 m多。由于1590年伽利略曾在此塔做落体实验,创立了物理学上著名的落体定律,斜塔成为世界上最珍贵的历史文物之一。为此,意大利花费巨资进行地基加固处理,使之得以保存。

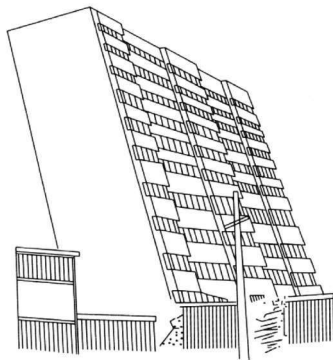


图1-2 巴西某大厦

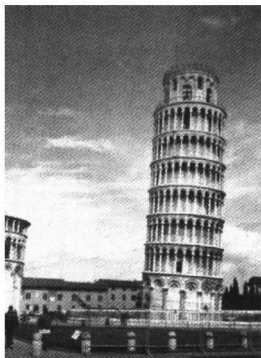


图1-3 比萨斜塔

基础工程视其复杂程度、设计与施工是否合理,所占工程造价比例变动很大,从百分之几到几十之间,若地基还需处理,则费用更多。如重庆黄花园某公司修建7~9层砖混结构住宅,建筑物地处嘉陵江边,典型的土岩组合地基,土层厚度相差达20多米,且下卧基岩面坡度较陡(见图1-4)。原设计为全部桩基础,预算基础工程费用约占建筑总投资的80%,后结合修改建筑设计,基础视上部结构及地质条件不同,采用不同形式、尺寸,并进行局部换土垫层。修改后基础费用仅占总投资的14.5%。

从以上工程实例可见,基础工程实属百年大计,必须认真对待。随着国民经济的发展,作为建筑物的重要组成部分——基础工程,越来越重要,应受到最广泛的重视。

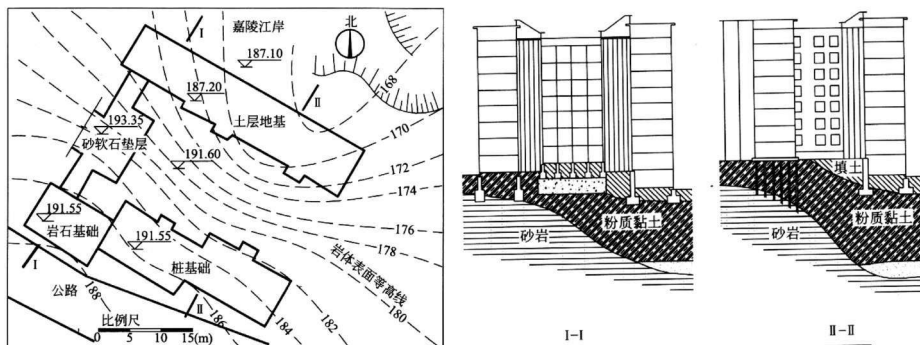


图1-4 重庆黄花园某住宅

### 第三节 基础工程的特点及学习方法

基础工程是土木工程专业的一门重要的专业课。该课程以土力学为其理论基础,并涉及工程地质学、工程力学、结构工程和施工技术等领域,是一门综合性强、内容广泛,理论性和实践性均较强的课程。因此,在学习时应充分重视工程地质学的基本概念,牢固掌握土力学的基本原理,结合结构工程理论和施工知识,分析和解决基础工程方面的问题。

地基岩土因其形成过程、物质成分、气候条件以及环境等因素影响,性质和分布极其复杂,且在较小的范围内也可能有很大的变化。进行基础工程设计时,必须通过勘察及测试来获取所需的各种参数和资料。因此,在学习时应注重岩土工程测试技术,掌握现场原位测试和室内土工试验方法,避免千篇一律机械套用地质勘察资料进行基础工程设计计算。

我国地域辽阔,自然地理环境不同,分布着多种多样性质各异的岩土,如软土、湿陷性黄土、膨胀土、红黏土、冻土和山区地基。不同区域的岩土还具有各自的一些特殊性质。因此,在学习时应重视地区性工程经验,注重理论与实践相结合,因地制宜地解决和处理地基基础问题。

基础工程是地下隐蔽工程,基础工程的勘测、设计和施工质量,直接影响建筑物的安危。一旦出现问题,补救起来比较困难。因此,在学习时应明确施工质量的重要性,掌握各项基础工程施工方法和地基处理技术措施的可行性及其适用条件,增强解决地基基础问题的能力。

## 第四节 基础工程设计计算原则、设计方法

### 一、基础工程设计计算的原则

建筑物是一个整体,地基、基础、墩台和上部结构是共同工作且相互影响的,地基的任何变形都必定引起基础、墩台和上部结构的变形;不同类型的基础会影响上部结构的受力和工作;上部结构的力学特征也必然对基础的类型与地基的强度、变形和稳定条件提出相应的要求,地基和基础的不均匀沉降对于超静定的上部结构影响较大,因为较小的基础沉降差就能引起上部结构产生较大的内力。同时恰当的上部结构、墩台结构形式也具有调整地基基础受力条件,改善位移情况的能力。因此,基础工程应紧密结合上部结构、墩台特性和要求进行;上部结构的设计也应充分考虑地基的特点,把整个结构物作为一个整体,考虑其整体作用和各个组成部分的共同作用。全面分析建筑物整体和各组成部分的设计可行性、安全性和经济性,把强度、变形和稳定紧密地与现场条件、施工条件结合起来,全面分析,综合考虑。

基础工程设计计算的目的是设计一个安全、经济和可行的地基及基础,以保证结构物的安全和正常使用。因此,基础工程设计计算的基本原则如下:

- (1) 基础底面的压力小于地基承载力容许值;
- (2) 地基及基础的变形值小于建筑物要求的沉降值;
- (3) 地基及基础的整体稳定性有足够保证;
- (4) 基础本身的强度、耐久性满足要求。

地基与基础方案的确定主要取决于地基土层的工程性质与水文地质条件、荷载特性、上部结构的结构形式及使用要求,以及材料的供应和施工技术等因素。方案选择的原则是:力求使用上安全可靠、施工技术上简便可行和经济上合理。因此,必要时应作不同方案的比较,从中选出较为适宜与合理的设计方案和施工方案。

### 二、基础工程设计方法

随着建筑科学技术的发展,基础工程设计方法也在不断改进。

#### (一) 容许承载力设计方法

建筑物荷载通过基础传递到地基上,对于刚性扩大基础而言,作用在基础底面单位面积上的压力称为基底压力。设计中要求基底压力不能超过地基极限承载力,而且要有足够的安全度;同时所引起地基变形不能超过建筑物容许变形值。满足这两项要求,地基单位面积上所能承受的最大压力就称为地基容许承载力。如果地基容许承载力 $[\sigma_0]$ 确定了,则要求的基础底面积 $A$ 就可按下式计算

$$A = \frac{N}{[\sigma_0]} \quad (1-1)$$

式中, $N$ ——作用在基础上的总荷载,包括基础自重;

$[\sigma_0]$ ——地基的容许承载力。

最早的地基容许承载力是根据工程师的经验或建设者参考建筑场地附近建筑物地基的

承载状况确定的。通过长期经验积累,人们不断总结容许承载力与地基土性状的关系,用规范的形式给出地基的容许承载力与土的种类及其物理性质指标(如孔隙比  $e$ 、液性指数  $I_L$  等)或者原位测试指标(如标准贯入击数等)的关系,设计者可以从地基规范的容许承载力表中直接查出地基容许承载力。例如根据我国 1985 年颁布的《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—1985),一般黏性土容许承载力  $[\sigma_0]$  值可由表 1-1 查得。砂土容许承载力  $[\sigma_0]$  可由表 1-2 查得。有了地基容许承载力,地基基础设计就很容易进行。地基容许承载力设计方法是我国 20 世纪最常用的方法,并积累了丰富的工程经验,目前还有一些规范使用此种方法,如《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—2005)。然而,由于地基容许承载力设计方法本身的局限性,安全度有多大,很难给出比较准确的答案。因此,这种方法需要改进。

表 1-1 一般黏性土的容许承载力  $[\sigma_0]$  (kPa)

| $\sigma$ (kPa) / $I_L$ / $e$ | 0   | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0.5                          | 450 | 440 | 430 | 420 | 400 | 380 | 350 | 310 | 270 | 240 | 220 | —   | —   |
| 0.6                          | 420 | 410 | 400 | 380 | 360 | 340 | 310 | 280 | 250 | 220 | 210 | 180 | —   |
| 0.7                          | 400 | 370 | 350 | 330 | 310 | 290 | 270 | 240 | 220 | 190 | 170 | 160 | 150 |
| 0.8                          | 380 | 330 | 300 | 280 | 260 | 240 | 230 | 210 | 180 | 160 | 150 | 140 | 130 |
| 0.9                          | 320 | 280 | 260 | 240 | 220 | 210 | 190 | 180 | 160 | 140 | 130 | 120 | 100 |
| 1.0                          | 250 | 230 | 220 | 210 | 190 | 170 | 160 | 150 | 140 | 120 | 110 | —   | —   |
| 1.1                          | —   | —   | 160 | 150 | 140 | 130 | 120 | 110 | 100 | 90  | —   | —   | —   |

表 1-2 砂土的容许承载力  $[\sigma_0]$  (kPa)

| 砂类土名称 | $\sigma_0$ (kPa) / 密实度 / 湿度 | 密实  | 中等密实 | 稍松  |
|-------|-----------------------------|-----|------|-----|
| 砾砂、粗砂 | 与湿度无关                       | 550 | 400  | 200 |
| 中砂    | 与湿度无关                       | 450 | 350  | 150 |
| 细砂    | 水上                          | 350 | 250  | —   |
|       | 水下                          | 300 | 200  | —   |
| 粉砂    | 水上                          | 300 | 200  | —   |
|       | 水下                          | 200 | 100  | —   |

## (二) 极限状态设计方法

随着建筑技术的发展,结构不断更新、体型日益复杂。新型结构物和大型结构物对沉降和不均匀沉降更为敏感。地基容许承载力设计方法未必仍能保证新型建筑物安全使用。因此对复杂一些的建筑物往往还要单独进行地基变形验算。这样,容许承载力设计方法就满足不了要求。实际上,地基承载力和变形容许是对地基的两种不同要求,要充分发挥地基承载作用,并不能简单地用一个容许承载力概括。更好的做法应该是分别验算,了解控制的因

素,对薄弱环节采取必要的工程措施,才能真正充分发挥地基的承载能力,在保证安全可靠的前提下达到最为经济的目的,这也就是极限状态设计方法的本质。按极限状态设计方法,地基必须满足如下两种极限状态的要求。

### 1. 承载能力极限状态或稳定极限状态

目的是让地基土最大限度地发挥承载能力,荷载超过此种限度时,地基土即发生强度破坏而丧失稳定或发生其他任何形式的危及建筑物安全的破坏。表达式为

$$\frac{N}{A} = P \leq \frac{P_u}{K} \quad (1-2)$$

式中, $P$ ——基底压力;

$P_u$ ——地基极限承载力,或称极限荷载;

$K$ ——安全系数。

### 2. 正常使用极限状态或变形极限状态

目的是地基受载后的变形应该小于建筑物地基变形的允许值,表达式为

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

式中, $s$ ——建筑物地基的变形;

$[s]$ ——建筑物地基的容许变形值。

表面上看,地基的极限状态设计与结构的极限状态完全相同。首先满足承载力极限状态,保证地基稳定;然后满足正常使用极限状态,符合变形要求。但是,已有的大量地基工程事故资料表明,绝大多数地基事故都是由于变形过大而且不均匀造成的。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。临塑荷载  $P_{cr}$  远小于整体剪切破坏时的极限荷载  $P_u$ 。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,影响建筑物正常使用,即地基设计实质上受变形控制。

在式(1-2)中地基极限承载力除以安全系数的含义也与材料强度除以安全系数的含义不同。这是因为地基极限承载力不是土的强度,其值不仅与土的性质有关,而且与荷载的分布范围及作用的深度等因素有关;其次地基极限承载力除以安全系数得到的地基承载力在很大程度上仍然是反映建筑物对变形的要求,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,按式(1-2)验算实质上是以满足式(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,这点与结构的分析不同。

用这种设计方法,地基的安全程度都是用单一的安全系数表示,为了与后面第三种方法相区别,可称之为单一安全系数的极限状态设计方法。

### (三)可靠度设计方法

前面所讲的两两种设计方法,都是把荷载和抗力当成一个确定量;当然,衡量建筑物安全度的安全系数也是一个确定值。其实,无论是荷载或者抗力,都存在很大的不确定性,很难确定其准确的数值。以试验研究某土层的内摩擦角  $\varphi$  值为例,进行几次试验,每次试验结果都不会完全一致,因为取样的位置、试验的具体操作都不可能完全一样。就是说,内摩擦角

这个土的重要的力学指标不是一个能够完全确定的数值,它的变化是随机的,称为随机变量。随机变量并不是变化莫测、毫无规律的,因为是属于同一层土,基本性质应该大致相同,其变化服从于某一统计规律。内摩擦角是这样,土的其他特性指标也是这样;推而广之,其他材料的特性指标包括作用在建筑物上的荷载以及很多的事物和现象也都是这样。

另一方面,工程上对安全系数数值的确定,仅是根据以往的工程经验,比较粗略,而且不同方法之间,要求也不尽相同。例如用式(1-2)验算地基稳定时,要求安全系数达到 $2 \sim 3$ ;而改用圆弧滑动法验算地基稳定性时,要求安全系数则为 $1.3 \sim 1.5$ 。但这完全不表示前者的安全度高于后者,仅仅是采用的方法不同、准确性不一样,所以要求不同而已。以上说明这种用确定数量的荷载和抗力以单一安全系数所表征的设计方法有不够科学之处,于是另一种新的分析方法,即可靠度设计方法就逐渐发展起来。

可靠度设计方法,也称以概率理论为基础的极限状态设计方法。可靠度的研究早在20世纪30年代就已开始,当时是围绕飞机失效所进行的研究。如果飞机设计师按已往的设计方法得到安全系数是3或者更大,这对安全飞行提供的只是一个很模糊的概念,因为再大的安全系数也避免不了飞行事故的可能性。如果采用新的方法,提供的结果是每飞行一小时,失事的可能性为百万分之几的概率,则人们对飞行安全性的认识就要具体得多,这种以失效概率为表征的分析方法就是可靠度分析方法。第二次世界大战中,德国用可靠度分析方法研究火箭。美国在对其新型飞机的研究中也进行可靠度分析。以后可靠度分析方法逐渐推广应用到多个生产部门。大约20世纪40年代已应用于结构设计中。1983年我国颁布《建筑设计统一标准(草案)》就完全按国际上发展推行的建筑结构可靠度设计的基本原则,采用以概率统计理论为基础的极限状态设计方法。

由于地基土是在漫长的地质年代中形成的,是大自然的产物,其性质十分复杂,不仅不同地点的土性可以差别很大,即使同一地点,同一土层的土,其性质也随位置发生变化。所以地基土具有比任何人工材料大得多的变异性,它的复杂性质不仅难以人为控制,而且要清楚地认识它也很不容易。在进行地基可靠性研究的过程中,取样、代表性样品选择、试验、成果整理分析等各个环节都有可能带来一系列的不确定性,增加测试数据的变异性,从而影响到最终分析结果。地基土因位置不同引起的固有可变性,样品测值与真实土性值之间的差异性,以及有限数量所造成的误差等,都是地基土材料特性变异的主要来源。这种变异性比一般人工材料的变异性大。因此,地基可靠性分析的精度,在很大程度上取决于土性参数统计分析的精度。如何恰当地对地基土性参数进行概率统计分析,是基础工程最重要的问题。

首先,地基是一个半无限体,与板梁柱组成的结构体系完全不同。在结构工程中,可靠性研究的第一步先解决单构件的可靠度问题,目前列入规范的亦仅仅是这一步,至于结构体系的系统可靠度分析,还处在研究阶段,还没有成熟到可以用于设计标准的程度。地基设计与结构设计不同的地方在于无论是地基稳定和强度问题还是变形问题,求解的都是整个地基的综合响应。地基的可靠性研究无法区分构件与体系,从一开始就必须考虑半无限体的连续介质,或至少是一个大范围连续体。显然,这样的验算不论是从计算模型还是涉及的参数方面都比单构件的可靠性分析复杂得多。

其次,在结构设计时,所验算的截面尺寸与材料试样尺寸之比并不很大。但在地基问题中却不然,地基受力影响范围的体积与土样体积之比非常大。这就引起了两方面的问题:一

是小尺寸的试件如何代表实际工程的性状;二是由于地基的范围大,决定地基性状的因素不仅是一点土的特性,而是取决于一定空间范围内平均土层特性,这是结构工程与基础工程在可靠度分析方面的最基本的区别所在。

我国基础工程可靠度研究始于 20 世纪 80 年代初,虽然起步较晚,但发展很快,研究涉及的课题范围较广,有些课题的研究成果,已达国际先进水平。但由于研究对象的复杂性,基础工程的可靠度研究落后于上部结构可靠度的研究,而且要将基础工程可靠度研究成果纳入设计规范,进入实用阶段,还需要做大量的工作。国外有些国家已建立了地基按半经验半概率的分项系数极限状态标准执行。在我国,随着结构设计使用极限状态设计方法,在地基设计中采用极限状态设计工作也已提到议事日程上。我国 1992 年颁布了《工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50153—92),1999 年 6 月颁布了推荐性国家标准《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999)。2001 年 11 月建设部对 92 版标准又进行了修改补充,颁布《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001),该标准规定,制订建筑结构荷载规范以及钢结构、薄壁型钢结构、混凝土结构、砌体结构、木结构等设计规范,均应遵守该标准的规定。至此,可靠度设计已经成为我国建筑结构设计的统一依据。

20 世纪 90 年代以来,我国在公路桥梁荷载方面(恒荷载、汽车荷载、人群荷载、汽车冲击力、风荷载、温度作用等)都进行了全国性的调查和测试,取得了大量的较具代表性的数据,并运用统计数学的方法寻找各种荷载的统计参数和概率分布类型;用随机过程概率模型来描述可变荷载,并最终求得在设计基准期内最大值的概率分布。在取得各种荷载统计规律的基础上,根据国际通用的原则,以概率分布的某一分位值作为各种荷载的标准值。基于此,原“85 桥规”于 2004 年以后陆续修订为《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004),向可靠度设计方法迈出了坚实的一步。基于岩土本身的复杂性,短期内完全应用可靠度设计有一定的困难,因此,我国现行《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)虽然引用了部分可靠度设计原则,但仍在相当程度上保留了《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—1985)的内容。

## 第五节 基础工程的发展概况

基础工程既是一项古老的工程技术,又是一门年轻的应用科学。

追本溯源,世界文化古国的先民,在史前的建筑活动中,就已经创造了自己的基础工艺。两千多年来在世界各地建造的宫殿楼宇、寺院教堂、高塔亭台、长城运河、古道石桥、码头、堤岸等工程,无论是至今完好,还是不复存在,都凝聚着佚名者和杰出人物的智慧。采用石料修筑基础、木材做成桩基础、石灰拌土夯成垫层或浅基础、砂土水撼加密、填土击实等修筑地基基础的传统方法,目前在某些范围内还在应用。18 世纪到 19 世纪,人们在大规模建设中遇到了许多与岩土工程相关的问题,促进了岩土力学的发展。例如,法国科学家 C. A. 库仑(Coulomb)在 1773 年提出了砂土抗剪强度公式和挡土墙土压力的滑楔理论;英国学者 W. J. M. 朗金(Rankine)又从另一途径建立了土压力理论;法国工程师 H. 达西(Darcy)在 1856 年提出了层流运动的达西定律;捷克工程师 E. 文克勒(Winkler)在 1867 年提出了铁轨下任一

点的接触压力与该点土的沉降成正比的假设;法国学者 J. 布辛奈斯克 (Boussinesq) 在 1885 年提出了竖向集中荷载作用下半无限弹性体应力和位移的理论解答。这些先驱者的工作为土力学的建立奠定了基础。然而,作为一个完整的工程学科的建立,则以太沙基 1925 年发表第一本比较系统完整的著作《土力学》为标志。太沙基与 R. 佩克 (Peck) 在 1948 年发表的《工程实用土力学》中,将理论、测试和工程经验密切结合,推动了土力学和基础工程学科的发展。

“工程实用土力学”的出现,标志着“土力学及基础工程”真正成为一门工程科学;1936 年在美国哈佛召开了第一届国际土力学及基础工程学术会议,至今已 17 届,特别是在 20 世纪 70 年代以来,把学科推向现代化。在理论上,从饱和砂土的有效应力原理和线弹性力学为基础的土力学,逐渐发展为至今的考虑土的结构影响的黏弹塑性体的应力、应变、强度的数学模型,从饱和土为主的理论,发展到非饱和土,还发展了土的动力特性等。在基础工程应用技术上,数百米高的超高层建筑物,地下有百余米深地下多层基础工程,大型钢厂的深基础,海洋石油平台基础,海上大型混凝土储油罐,人工岛(关西机场),条件复杂的高速公路路基,跨海大桥的桥梁基础等工程技术,使桩基、墩基、地基处理不断革新,走向现代。我国改革开放以来,大规模的现代化建设,深圳、广州、上海浦东以及沿海的中等城市,数以万计的高层建筑,三峡水利工程,南水北调工程,青藏铁路,全国各省市高速公路等成功实践,有效地促进了我国基础工程现代化发展。

自人工挖孔桩于 100 年前在美国问世以来,灌注桩基础得到了极大的发展,出现了很多新的桩型。单桩承载力可达数千千牛,最大的灌注桩直径可达数米,深度已超过 100 m。上海金茂大厦的桩基础入土深度达到 80 m 以上。钢管桩、大型钢桩、预应力混凝土管桩、劲性水泥土搅拌桩等新老桩型也在大量采用,桩基础的设计理论也得到较大的发展。特别是近年来,考虑桩和土共同承担荷载的复合桩基础设计理论在多高层建筑中得到较为广泛的应用。

高层和超高层建筑地下室的修建、地铁车站的建造以及城市地下空间的开发利用等,提出了与深基础相关的深、大基坑的开挖和支护问题。在 20 世纪 30 年代,太沙基等人就已开始研究基坑工程中的岩土工程问题。随着我国建设的发展,特别是进入 20 世纪 90 年代以来,深基坑的数量和深度都很大,基坑开挖深度达 30 m 以上。基坑围护体系的种类、各种围护体系的设计计算方法、施工技术、监测手段以及基坑工程的研究取得了很大的进展。由于基坑围护系统大多为临时性结构,使得基坑工程具有安全储备小、风险大的特点。基坑工程具有很强的地域性,不同地区采取的支护形式会有不同的特点和习惯做法。基坑工程还具有很强的个性,即使在同一地区的同样深度的基坑,由于基坑周围环境条件如建筑物、道路、地下管线的情况不同,支护方案也可能完全不同;甚至由于施工单位的物料储备也会对造价有影响,因而影响支护形式。

## 第二章 浅 基 础

### 第一节 概 述

进行地基基础设计时,必须根据建筑物的用途和设计等级、建筑布置和上部结构类型,充分考虑建筑场地和地基岩土条件,结合施工条件以及工期、造价等各方面的要求,合理选择地基基础方案。常见的地基基础方案有:天然地基或人工地基上的浅基础、深基础、深浅结合的基础(如桩—筏、桩—箱基础等)。上述每种方案中各有多种基础类型和做法,可以根据实际情况加以选择。一般而言,天然地基上的浅基础便于施工、工期短、造价低,如能满足地基的强度和变形要求,宜优先选用。

本章主要讨论天然地基上浅基础的设计原理和计算方法,这些原理和方法也基本适用于人工地基上的浅基础。

#### 一、浅基础设计内容

天然地基上浅基础的设计,包括下列各项内容:

- (1)选择基础的材料、类型,进行基础平面布置;
- (2)确定地基持力层和基础埋置深度;
- (3)确定地基承载力;
- (4)确定基础的底面尺寸,必要时进行地基变形与稳定性验算;
- (5)进行基础结构设计(对基础进行内力分析、截面计算并满足构造要求);
- (6)绘制基础施工图,提出施工说明。

设计浅基础时要充分掌握拟建场地的工程地质条件和地基勘察资料,例如:不良地质现象和发震断层的存在及其危害性、地基土层分布的不均匀性和软弱下卧层情况、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地基基础设计等级(见表2-1)和场地的工程地质条件相适应。

在仔细研究地基勘察资料的基础上,结合考虑上部结构的类型、荷载的性质及大小和分布、建筑布置和使用要求以及拟建基础对周围环境的影响,即可选择基础类型和进行基础平面布置,并确定地基持力层和基础埋置深度。

上述浅基础设计的各项内容是互相关联的。设计时可按上述顺序逐项进行设计与计算,如发现前面的选择不妥,则须修改设计,直至各项计算均符合要求且各数据前后一致为止。对规模较大的基础工程,还宜对若干可能的方案做出技术经济比较,然后择优采用。

如果地基软弱,为了减轻不均匀沉降的危害,在进行基础设计的同时,尚需从整体上对建筑设计和结构设计采取相应的措施,并对施工提出具体(或特殊)要求。

## 二、浅基础设计方法

在工程设计中,通常把上部结构、基础和地基三者分离开来,分别对三者进行计算。以图 2-1(a)中柱下条形基础上的框架结构设计为例:先视框架柱底端为固定支座,将框架分离出来,然后按如图 2-1(b)所示的计算简图计算荷载作用下的框架内力。再把求得的柱脚支座反力作为基础荷载反方向作用于条形基础上[见图 2-1(c)],并按直线分布假设计算基底反力,这样就可以求得基础的截面内力。进行地基计算时,则将基底压力(与基底反力大小相等、方向相反)施加于地基上[见图 2-1(d)],并作为柔性荷载(不考虑基础刚度)来验算地基承载力和地基沉降。

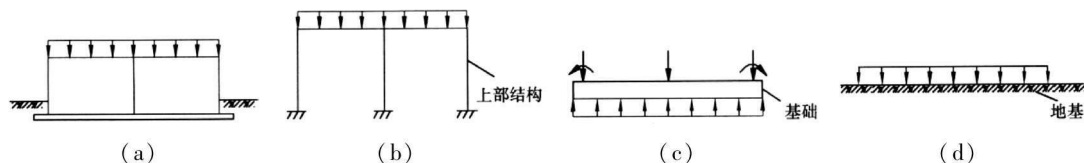


图 2-1 常规设计法计算简图

上述设计方法可称之为常规设计法。这种设计方法虽然满足了静力平衡条件,但却忽略了地基、基础和上部结构三者之间受荷前后的变形连续性。事实上,地基、基础和上部结构三者是相互联系成整体来承担荷载而发生变形的,它们原来互相连接或接触的部位,在受荷后一般仍然保持连接或接触,即墙柱底端的位移、该处基础的变位和地基表面的沉降应相一致,满足变形协调条件。显然,地基越软弱,按常规方法计算的结果与实际情况的差别就越大。

由此可见,合理的分析方法,原则上应该以地基、基础、上部结构之间必须同时满足静力平衡和变形协调两个条件为前提。只有这样,才能揭示它们在外荷载作用下相互制约、彼此影响的内在联系,从而达到安全、经济的设计目的。鉴于这种从整体上进行相互作用分析难度较大,于是对于一般的基础设计仍然采用常规设计法,而对于复杂的或大型的基础,则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-上部结构的相互作用。

常规设计法在满足下列条件时可认为是可行的。

- (1) 地基沉降较小或较均匀。若地基不均匀沉降较大,就会在上部结构中引起很大的附加内力,导致结构设计不安全。
- (2) 基础刚度较大。基底反力一般并非呈直线分布,它与土的类型及性质、基础尺寸和刚度以及荷载大小等因素有关。一般而言,当基础刚度较大时,可认为基底反力近似呈直线分布。对连续基础(指柱下条形基础、柱下交叉条形基础、筏形基础和箱形基础),通常还要求地基、荷载分布及柱距较均匀。

## 三、地基基础设计原则

### (一) 对地基计算的要求

根据地基复杂程度、建筑物规模和功能特征以及由于地基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度,《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 将地基基础设计分为三个设计等级(见表 2-1)。