

346

建筑管理干部技术学习丛书之四

# 地基与基础

中国建筑工业出版社

051083

TU47  
5618

建筑管理干部技术学习丛书之四

# 地基与基础

中国建筑科学研究院地基基础研究所 编

中国建筑工业出版社

本书是“建筑管理干部技术学习丛书”之四，主要读者对象是管理人员。它的特点是简明扼要，概念明确，有分析，有评述，不过多地讲述具体的计算公式。

本书主要介绍地基与基础设计、施工技术基本知识。首先对地基基础的概貌作了简要介绍，然后分别叙述地基土的承载力与设计准则、房屋沉降问题、特殊地基土、地基处理、各种基础的设计计算、施工处理等。

本书主要供建筑业各级领导干部和管理人员阅读，也可供建筑施工人员和中等建筑专业学校师生参考。

## 建筑管理干部技术学习丛书之四

### 地基与基础

中国建筑科学研究院地基基础研究所 编

\*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市昌平长城印刷厂印刷

\*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：5½ 字数：122千字

1983年6月第一版 1985年6月第二次印刷

印数：125,101—193,200册 定价：0.71元

统一书号：15040·4478

## 编写说明

这套丛书是根据原国家建委领导同志的指示，为从事建筑工程管理工作的各级领导干部和管理人员学习技术基础知识编写的。本书用比较通俗的语言阐述了建筑工程领域的技术知识和最新成就。丛书共七个分册，即：工程勘察、建筑设计、建筑结构、地基与基础、建筑设备与建筑物理、建筑材料与制品、建筑施工与管理。

丛书是在中国建筑科学研究院主持下编写的。为编写好这套丛书，由中国建筑科学研究院、原国家建委干部局和中国建筑工业出版社的有关同志组成编审小组负责这项工作。

这套丛书的篇幅较大，涉及的内容较多，读者可以有计划地全面阅读，也可以根据工作需要选读其中的几册。由于全书系中国建筑科学研究院的十一个研究所和有关同志分工编写，虽经统一协调，但在叙述方法、文章结构和繁简程度上仍有差别。为保持各分册的完整性和选读方便，个别地方稍有重复。由于编写人员水平所限，在内容和资料上难免有不妥之处，我们诚恳地希望同志们批评指正，以便今后修改提高。

编者

一九八二年十一月

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第一章 概述 .....                 | 1   |
| 第一节 地基基础在建筑工程中的重要性 .....     | 1   |
| 第二节 地基基础发展情况简介 .....         | 3   |
| 第三节 土的物理性质和水理性质的几个主要指标 ..... | 5   |
| 第四节 地基土的分类及几种特殊土的分布概况 .....  | 8   |
| 第二章 地基土的承载力与设计准则 .....       | 12  |
| 第一节 确定地基承载力的方法和依据 .....      | 12  |
| 第二节 地基设计的原则、步骤和方法 .....      | 23  |
| 第三节 斜坡、挡土墙的设计要求 .....        | 29  |
| 第四节 筒仓、烟囱及塔形建筑物基础的设计要求 ..... | 40  |
| 第五节 基础埋置深度的选择 .....          | 41  |
| 第三章 房屋沉降 .....               | 45  |
| 第一节 引起房屋沉降的原因 .....          | 45  |
| 第二节 土的压缩性 .....              | 46  |
| 第三节 预估房屋沉降的常用方法 .....        | 51  |
| 第四节 验算房屋沉降的范围和要求 .....       | 60  |
| 第五节 沉降观测及其重要性 .....          | 63  |
| 第四章 特殊土地基 .....              | 66  |
| 第一节 软土地基 .....               | 66  |
| 第二节 湿陷性黄土地基 .....            | 82  |
| 第三节 膨胀土地基 .....              | 92  |
| 第四节 冻土地基 .....               | 110 |
| 第五章 地基处理 .....               | 121 |
| 第一节 地基处理的发展 .....            | 121 |

|     |                 |     |
|-----|-----------------|-----|
| 第二节 | 浅层地基处理法 .....   | 122 |
| 第三节 | 深层地基处理法 .....   | 129 |
| 第六章 | 基础 .....        | 137 |
| 第一节 | 基础的分类和选择 .....  | 137 |
| 第二节 | 条形基础 .....      | 138 |
| 第三节 | 柱基础 .....       | 140 |
| 第四节 | 桩基础 .....       | 142 |
| 第五节 | 箱形基础与筏片基础 ..... | 157 |
| 第六节 | 壳体基础 .....      | 160 |
| 第七节 | 其他基础形式 .....    | 164 |

# 第一章 概 述

## 第一节 地基基础在建筑工程中的重要性

高楼大厦必须要有坚固耐久的基础，因而，对建筑物来说，“打基础”是极为重要的。那么建筑物的基础指的是哪一部分呢？一般说，是指它的地下部分或水下部分通过它把建筑物本身的重量和作用在建筑物上的荷载传递给地基。在建筑工程中，根据地基土的性质、结构类型和荷载大小的不同，可分别选用独立基础、条形基础、筏基、箱基、桩基等不同的基础形式。

所谓地基，就是指承受由基础传来荷载的地层。地基虽然不是建筑物本身的一部分，但它在建筑中占十分重要的地位。它的好坏、以及地基基础设计是否合理，不仅会直接影响建筑造价，而且会直接影响建筑物的安危。如世界闻名的意大利的比萨斜塔，由于地基的不均匀下沉，造成塔顶歪斜4.8米；1917年修建的伦敦铁卢大桥，因中部4号桥墩地基沉陷2.5英尺，使桥面下凹，不得不重新修建；我国西南某厂位于滑坡体上的建筑群，尽管花了很多钱进行了处理，仍然不能确保其安全使用；在湿陷性黄土地区的建设中，曾产生一些因黄土地基的湿陷而造成的严重工程事故；在山区建设中，由于地基的不均匀变形，而引起建筑物的开裂破坏，以致严重影响建筑物的安全使用，类似的例子屡见不鲜。

从造价和工期来看，基础工程在建筑工程中占着很大的

比重。就一般工程而言，基础造价占建筑物总造价的10~20%，施工工期相当于整个建筑物施工工期的25~35%，而且基础工程施工的机械化水平低，以劳动量来统计，约占8~12%。如果地基条件差，需要进行地基加固，或者某些工程主要是在地下或水下施工时，那么，基础工程所占的比重就更大。

以某重型机器厂为例，由于地基承载力较低，六个主要车间的基础采用了桩基，按设计共打钢筋混凝土桩12400余根，钢筋混凝土量为21500立方米，重达54000吨。仅打桩工程，经过八个月昼夜不断的努力方告完成，基础工程造价超过1000万元。再以武汉长江大桥为例，它的特点是荷载大、水深（达40米）、流急、施工季节短、工程地质条件异常复杂。这样，不仅给地基基础的设计、施工带来许多技术难题，而且造成基础工程造价高、工期长。其中，八个桥墩就花费了1685万元，仅管柱基础一项就是1372万元。以工期来说，总工期为3年10个月，而桥墩基础施工期就达3年3个月。

地基基础问题是工程建设中最复杂的问题之一。构成地基材料的“土”，往往不能按照设计者的愿望，象用其它建筑材料那样可以自由选择。一旦建筑场地选定，不论“土”的性质如何，地基就没有选择的余地。尽管建筑场址是可以选择的，但由于工业布局、城市规划、总图设计等原因，不可能将所有的建筑物都建造在理想的地基土上。我国幅员辽阔，土类繁多，各种土的工程性质差别很大。就是同一场区，各类土在竖向和水平向的分布也往往很不均匀，甚至同一栋建筑物也可能座落在性质差别很大的地基土上。有时，还会遇到滑坡、岩溶土洞等不良的工程地质现象。在基础工

程施工中，常会遇到地下水、边坡失稳、流砂等复杂问题。土力学与地基基础就是研究和解决土木工程中这些问题的—门重要学科。它以地基土和建筑物为主要的研究对象，综合运用数学、力学、工程地质与水文地质、建筑结构与施工等专业知识，研究地基土与上部结构的相互关系，提出地基基础设计理论和方法，使之做到安全可靠、经济合理、技术先进、便于施工。

## 第二节 地基基础发展情况简介

地基基础是在人类生产实践中产生和发展起来的一门分支学科。我国古代的劳动人民创造了许多世界闻名的奇迹，其中也包括了地基基础方面的成就。如在公元前250年建成了著名的都江堰分水灌溉工程（现四川灌县），一千多年前，在河北赵县成功建成了跨度30多米的当时世界上罕见的大石拱桥——通济桥；闻名世界的万里长城是建造在各种不同的地基土上的，至今还依然雄伟地屹立着；在唐朝时重建的西安大雁塔高达64米，虽经多次地震而至今依然完好；如故宫、天坛以及遍布各地的寺庙和佛塔等宏伟的古建筑的成功建成，都充分说明了我们的祖先已积累了丰富的地基基础知识，有解决复杂的地基基础问题的卓越能力。然而，由于当时的生产水平的限制，它还只能停留在一些感性认识和实践经验上。

古代文献（韩非子）中春秋时代的人曾说到尧舜时期（约四千年前）的房屋建筑是“高堂三尺，茅茨土阶”，说明了那时的地基和基础的构造；有些宫殿等古建筑下有一个高出地面的土台，这是经过打夯或加石灰夯实所构成的人工

地基；约在一千年前修筑的杭州湾大海塘是极伟大的石工岸壁，因造在软土上，很多处都是打桩的。这些是当时的地基基础设计处理方法，但没有形成完整的设计理论和计算方法。

土力学与地基基础作为一门独立的学科出现在世界上，约有七十年的历史。我国地基基础学科是在解放后，在党的领导和关怀下，才建立和发展起来的，并建立了一支专业队伍。由于有优越的社会主义制度，以及从事地基基础工作的全体人员的共同努力，在短短的二、三十年中，使我国地基基础学科获得了迅速的发展。在总结多年的建筑经验和科研成果的基础上，先后编制了适合我国国情的“湿陷性黄土地区建筑规范”、“工业与民用建筑地基基础设计规范”以及一些地区性的或行业性的地基基础设计施工规定。成功地解决了如南京长江大桥、北京十大建筑、地面卫星站、高层建筑等等重大工程中的地基基础的设计、施工问题。总的来看，在地基设计方法上，我们采用了一般按承载力计算，而对地质复杂或有特殊要求的建筑物，还要进行变形验算的基本设计方法。在黄土、软土、膨胀土、红粘土等特殊土的设计处理上，也都积累了丰富的经验。

近十几年，国外在原位测试技术、基础施工技术及其机械设备等方面发展得很快。在理论研究方面，土的强度理论、土压力理论、土中应力波的传播、砂土液化等都有些新发展。在高层建筑方面，多采用桩基与箱基。近年来出现大直径的长灌注桩或采用H型钢桩。箱基较多采用地下连续墙施工。在单层与多层房屋，以短桩或条形基础为主，采用钻孔和挖土的机械进行施工。在欧美及日本等国家，着重研究长桩、地下连续墙、锚板支护等有关技术。苏联及东欧国家

偏重天然地基、采用装配式基础，埋深较大，耗钢也多。我国既着重利用天然地基，也注重浅埋基础。最近几年，为了提高施工速度，减少用工，许多单位研制了各种成孔机械，发展和推广灌注桩。

要使地基基础适应建筑工业化的要求，适应建筑材料、建筑结构新技术的迅速发展，同时，又考虑我国幅员辽阔、土类杂、地震区多及基础施工机械化水平低、工期长等具体情况，今后，我们应当以基础施工机械化为主来开展基础改革，不断提高地基基础的科学研究和设计、施工的水平。

### 第三节 土的物理性质和水理 性质的几个主要指标

土和一般固体不同，它是一种具有结构性的多相（固相、液相和气相）分散体系。在一般情况下，土是由固体颗粒、水和空气三部分组成。这三部分之间的比例关系随着周围条件的变化而变化。土中的颗粒、水和空气相互的比例不同，反映出土处在各种不同的状态：稍湿或很湿，密实或松散等。它们对评价土的工程性质、进行土的工程分类具有重要的意义。

土的三相物质是混合分布的。为叙述方便，可以用三相图（图1-1）表示：

图中各符号意义为：

$g$  ——土样的总重量；

$g_s$  ——土样中固体颗粒的重量；

$g_w$  ——土样中水的重量；

$g_a$  ——土样中气体的重量；

$V$ ——土样的总体积；

$V_s$ ——土样中固体颗粒的体积；

$V_w$ ——土样中水所占的体积；

$V_a$ ——土样中气体所占的体积；

$V_v$ ——土样中空隙的体积，即  $V_v = V_w + V_a$ 。

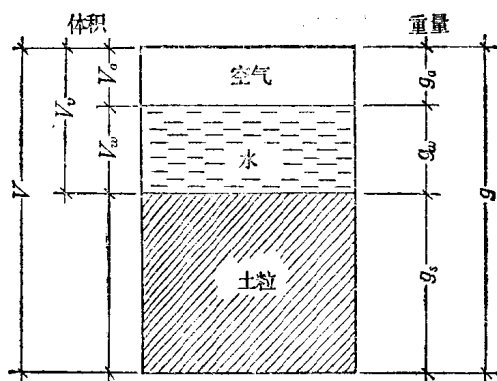


图 1-1 土的三相示意图

## 一、土的主要物理性质指标

土的主要物理性质指标有：比重、容重、含水量、干容重、孔隙比、饱和度等。其物理概念、表达式、单位等详见表1-1。在这些物理性质指标中，土的容重、比重、含水量是三个最基本的指标，由试验直接测定。其它指标可以由这三个指标换算得出。

## 二、土的水理性质指标

粘性土中的含水量对土所处的状态及其性质影响很大。当含水量很低时，它与固体物质一样；当含水量增加到某一范围时，它和橡皮泥类似，可以捏成各种形状，土的这种性质称之为塑性；当含水量继续增加超过某一界限时，它象很

稠的液体，不能保持一定的形状，会产生流动。换句话说，随着含水量的增加，粘性土逐渐地从固体状态经过塑性状态而变为流动状态。

土的主要物理性质指标

表 1-1

| 指标名称 | 符号         | 物 理 概 念                | 表 达 式                                                                 | 单 位                                   |
|------|------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 比 重  | $G$        | 土粒重量与同体积的水在 4°C 时的重量之比 | $G = \frac{g_s}{V_s} \cdot \frac{1}{r_w}$<br>$r_w = 1 \text{ 克/厘米}^3$ | —                                     |
| 容 重  | $\gamma$   | 土在天然状态下，单位体积的重量        | $\gamma = \frac{g}{V}$                                                | 克/厘米 <sup>3</sup><br>吨/米 <sup>3</sup> |
| 含水量  | $w$        | 土中水的重量与土颗粒重量之比         | $w = \frac{g_w}{g_s} \cdot 100\%$                                     | %                                     |
| 干容重  | $\gamma_d$ | 单位体积土中固体颗粒的重量          | $\gamma_d = \frac{g_s}{V}$                                            | 克/厘米 <sup>3</sup><br>吨/米 <sup>3</sup> |
| 孔隙比  | $e$        | 土中孔隙的体积与土颗粒体积之比        | $e = \frac{V_v}{V_s}$                                                 | —                                     |
| 饱和度  | $S_r$      | 土中水的体积与孔隙体积之比          | $S_r = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100\%$                                   | %                                     |

为了描述不同土的水理性质的差异，我们通常采用塑限、液限、塑性指数、液性指数等指标。

所谓塑限 ( $w_p$ ) 是指土由固体状态变到塑性状态时的分界含水量。一般用搓条法进行测定。

液限 ( $w_L$ ) 是指土由塑性状态转变到流动状态时的分界含水量。一般以锥式液限仪测定。

液限与塑限之差，我们称之为塑性指数 ( $I_p$ )。即  $I_p = w_L - w_p$ 。塑性指数反映了土颗粒表面积的大小和粘土矿物

亲水性的综合影响，它是进行粘性土分类的重要指标。如果土中粘粒含量愈多，土粒的比表面积愈大，那么这种土的塑性指数就愈大。这表示土处于塑性状态的含水量变化范围就愈大。按我国《工业与民用建筑地基基础设计规范》(TJ7—74)规定，当 $I_P > 17$ 时为粘土，当 $10 < I_P \leq 17$ 时为亚粘土，当 $3 < I_P \leq 10$ 为轻亚粘土。

土中的含水量是随周围条件的变化而变化的。对于同一种土，由于含水量的不同，它可以分别处于固体状态、塑性状态或流动状态。液性指数是判别粘性土软硬程度（或稀稠程度）的一个指标，其值按公式(1-1)计算：

$$I_L = \frac{W - W_P}{I_P} \quad (1-1)$$

液性指数反映了土所处的状态。当 $I_L \leq 0$ 时，土呈坚硬状态；当 $0 < I_L \leq 0.25$ 时，呈硬塑状态；当 $0.25 < I_L \leq 0.75$ 时，呈可塑状态；当 $0.75 < I_L \leq 1$ 时，呈软塑状态；当 $I_L > 1$ 时，呈流塑状态。在一般情况下，处于硬塑或坚硬状态的土具有较高的承载力；处于软塑或流动状态的土具有较低的承载力，建造在这种土上的房屋，其沉降往往很大，且长期不易稳定。

#### 第四节 地基土的分类及几种 特殊土的分布概况

土的形成过程是极为复杂的，在漫长的地质年代里，它受到两方面的地质作用：一方面，由于地球内部能量（如地球的内热）引起的内力作用，可以使地壳产生升降运动和水平运动，从而产生了海陆的变迁及岩层的挤压、弯曲、褶皱

与断裂等；另一方面，由于地球外部能量（如太阳能、人类活动等）引起的外力作用，会造成岩石的风化、剥蚀、搬运、堆积及硬结成岩作用，而形成了地壳表层的现代沉积层。这些不同的地质作用，可以同时或交错进行，而且相互影响。所以，自然界的土，种类繁多，其性质千差万别。

为了判别和评价土的工程性质，我们把作为建筑地基的土分为岩石、碎石土、砂土、粘性土和人工填土五大类。

1. 岩石：岩石是指整体的或具有节理裂隙的岩体，它具有强度高、变形小和连续整体的特点。按新鲜岩样饱和单轴抗压强度的大小，又可分硬质岩石（单轴抗压强度 $\geq 300$ 公斤/厘米<sup>2</sup>）和软质岩石（单轴抗压强度 $< 300$ 公斤/厘米<sup>2</sup>）。如果按其风化程度，又可分微风化、中等风化和强风化三类。一般来说，岩石类土属于较好的地基。

2. 碎石土：碎石土是指粒径大于2毫米的颗粒含量超过全重50%的土。按颗粒级配和颗粒形状，又将它分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾和角砾等六个亚类（见表1-2）。

3. 砂土：砂土是指粒径大于2毫米的颗粒含量不超过全

碎 石 土 分 类

表 1-2

| 土的名称       | 颗 粒 形 状           | 颗 粒 级 配             |
|------------|-------------------|---------------------|
| 漂 石<br>块 石 | 圆形及亚圆形为主<br>棱角形为主 | 粒径大于200毫米的颗粒超过全重50% |
| 卵 石<br>碎 石 | 圆形及亚圆形为主<br>棱角形为主 | 粒径大于20毫米的颗粒超过全重50%  |
| 圆 砾<br>角 砾 | 圆形及亚圆形为主<br>棱角形为主 | 粒径大于2毫米的颗粒超过全重50%   |

注：定名时应根据粒径分组由大到小以最先符合者确定。

重的50%的土。按颗粒级配情况又可分砾砂、粗砂、中砂、细砂、粉砂等五个亚类（见表1-3）。

砂 土 分 类

表 1-3

| 土 的 名 称 | 颗 粒 级 配              |
|---------|----------------------|
| 砾 砂     | 粒径大于2毫米的颗粒占全重25~50%  |
| 粗 砂     | 粒径大于0.5毫米的颗粒超过全重50%  |
| 中 砂     | 粒径大于0.25毫米的颗粒超过全重50% |
| 细 砂     | 粒径大于0.1毫米的颗粒超过全重75%  |
| 粉 砂     | 粒径大于0.1毫米的颗粒不超过全重75% |

注：定名时应根据粒径分组由大到小以最先符合者确定。

由于砂土是由松散的颗粒组成的，它主要靠颗粒间的摩擦力来抵抗外力的作用。砂土的密实度愈大，其摩擦力也愈大。较密实的砂土地基的承载力较高，沉降小而稳定快，属于良好的地基土。

4. 粘性土：粘性土是指塑性指数  $I_P > 3$  的土。这种土含有大量的粘土颗粒（ $< 0.005$ 毫米的颗粒），但它并不是矿物颗粒、水和气体三种物质的机械混合物。它在形成过程中，经历了强烈的化学作用和物理化学作用，形成了新的结构构造。因而，粘性土的颗粒间存在着一种联结力——内聚力。这种土在含水量适当时，具有可塑性。所以，粘性土的工程性质不仅与其粒度成分和粘土矿物的亲水性等有关，而且与其成因类型、形成年代及当时的环境等因素有关。我国“地基基础设计规范”（TJ7—74）突破了世界流行的以塑性指数或颗粒分析作为分类指标的框框，在粘性土分类中，既考虑了塑性指数，又考虑了土的成因类型和年代对工程性

质的影响。并具体规定：在粘性土定名时，先按工程地质特征划分类型，再按塑性指数确定土类。

按工程地质特征分为：老粘土、一般粘性土、淤泥和淤泥质土、红粘土、黄土、冻土、膨胀土等。

我国幅员辽阔，各地气候差别很大，地质成因和环境也大不相同，各种土的分布比较复杂。以气候条件来说，秦岭以北的广大北方地区，受大陆性气团的控制，气候干旱；秦岭以南，受海洋气团的影响较大，气候温暖潮湿。从大地构造来看，我国有二个主要构造系统。一是东西向的构造带，自祁连山向东延至秦岭，它把我国分成南北两大部分；另一个是北北东——南南西的构造带，它穿过东西向构造带，把我国分成四部分。秦岭以北，大兴安岭到太行山一线，把东部平原区与西北部的盆地、山地、高原分开。在秦岭以南，年青上升的青藏高原形成了一个特殊的区域，向东为四川盆地、云贵高原，再向东为东南丘陵区及沿海岛屿。地表土层是内外营力斗争的结果。秦岭以北地区：西北高原区以黄土、风砂和戈壁等干旱沉积物为主；东部平原以冲积物为主；东北地区、内蒙为季节性冻土。东西构造带以南地区，其西部青藏高原以永冻土及冰冻沉积物为主；其东部的广西、贵州、云南地区以红粘土为主，岩溶土洞发育；再往东的东南丘陵区以残积物为主；东部沿海地区广泛分布着软土。南北构造带以东、东西构造带以南地区和黄河流域一带，在丘陵、山地和河流阶地上，经常遇到膨胀土。

此外，尚有人类活动而堆积的土、统称为填土。