

建筑工程入门之路丛书

建筑工程地基处理 实例教程

辛士军 主编



JIANZHU GONGCHENG DIJI CHULI
实例教程



入门之路在手中
实践之路在脚下



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



建筑工程入门之路丛书

建筑工程地基处理 实例教程

辛士军 主编

机械工业出版社

前 言

我国幅员辽阔，地质条件复杂，地基基础又具有较高的隐蔽性，因而给从事工程地质、岩土工程领域的工作者提出了许多新的课题。

地基处理是岩土工程学科的一个主要分支。当建筑物的天然地基存在强度、液化、渗漏、变形或稳定性等问题时，需要对天然地基进行地基处理，从而满足建筑物对地基的各种要求。随着我国经济建设的高速发展，大量的新建工程越来越多地遇到软弱及不良地基。因此，对地基处理的要求也就越来越多和越来越迫切。为此，我们邀请了众多专家学者及一线工作人员编写了本书。本书对目前我国使用的各种地基处理方法的适用范围、加固机理、设计计算、施工工艺及质量检验方法等进行了较为全面、系统的阐述。

目前，国内外地基处理方法很多，且在不断地发展过程中。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，因此在选用某一种方法时，一定要根据地基土质条件、工程技术要求、工期、造价、施工机械设备等条件综合分析后确定。主书由辛士军主编，赵波、王广山、邱亮、白涛、韩大军参与编写。

在编写过程中作者参考和引用了许多科研、高校和工程单位的研究成果和工程实例，在此一并表示衷心的感谢。

由于本书内容涉及面较广，有的案例未能收集，加之编者水平有限等因素，若有不妥之处，恳请读者及相关人员在使用过程中，将发现的问题和意见随时反馈给我们，以便及时修改完善。

编 者

目 录

前言

第一章 建筑地基处理工程概论	1
第一节 建筑地基处理工程的基本知识.....	1
第二节 地基处理在建筑工程中的地位及作用.....	9
第三节 地基处理设计前的准备工作	17
第四节 地基处理工程的施工管理	20
第五节 地基处理技术的发展	21
第二章 换填法	26
第一节 概述	26
第二节 垫层设计与施工	35
第三节 质量检验	49
第四节 换填法地基处理实例	51
第三章 强夯法	62
第一节 概述	62
第二节 设计计算	69
第三节 施工方法	77
第四节 质量检验	83
第五节 强夯法工程实例	84
第四章 振冲法	110
第一节 概述.....	110
第二节 设计计算.....	110
第三节 施工方法.....	119
第四节 质量检验与控制.....	129
第五节 振冲法地基处理实例.....	132
第五章 碎（砂）石桩法	139

第一节	概述	139
第二节	设计计算	143
第三节	施工方法	148
第四节	质量检验	156
第五节	碎（砂）石桩法地基处理实例	156
第六章	排水固结法	162
第一节	概述	162
第二节	设计计算	166
第三节	施工方法	186
第四节	质量检验	200
第五节	排水固结法加固地基实例	202
第七章	灌浆法	212
第一节	概述	212
第二节	浆液材料	213
第三节	设计计算	230
第四节	施工方法	238
第五节	质量检验	249
第六节	灌浆法处理地基实例	251
第八章	加筋法	259
第一节	概述	259
第二节	加筋土挡墙	261
第三节	土工合成材料	278
第四节	加筋法处理地基基础实例	291
参考文献		298

第一章 建筑地基处理工程概论

第一节 建筑地基处理工程的基本知识

一、地基的概念

地基是指建筑物下面支承基础的土体或岩体。作为建筑地基的土层分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土和人工填土。地基有天然地基和人工地基两类。天然地基是不需要人为加固的天然土层。人工地基需要人为加固处理，常见有石屑垫层、砂垫层、混合灰土回填再夯实等。

二、建筑物的地基一般面临的问题

（一）强度及稳定性问题

当地基的抗剪强度不足以支承上部结构的自重及外部荷载时，地基就会产生局部或整体剪切破坏。它会影响建（构）筑物的正常使用。地基的稳定性或地基承载力大小，主要与地基土体的抗剪强度有关，也与基础形式、大小和埋深有关。承载力较低的地基容易产生地基承载力不足问题而导致工程事故。

（二）变形问题

地基变形主要与荷载大小和地基土体的变形特性有关，也与基础形式、基础尺寸大小有关。高压缩性土的地基容易产生变形问题。当地基在上部结构的自重及外界荷载的作用下产生过大的变形时，会影响建（构）筑物的正常使用；当超过建筑物所能容许的不均匀沉降时，结构可能开裂。一些特殊土地基在大气环境改变时，由于自身物理力学特性的变化而往往会在上部结构荷

载不变的情况下产生一些附加变形。这些变形都不利于建（构）筑物的安全。

（三）渗漏问题

渗漏是由于地基中地下水运动产生的问题。地基渗漏问题主要与地基中水力比降大小和土体的渗透性有关。

渗漏问题分为两种情况：

1. 水量流失

水量流失是由于地基土的抗渗性能不足而造成水量损失，从而影响工程的储水或防水性能，或者造成施工不便。

2. 渗透变形

渗透变形是指渗透水流将土体的细颗粒冲走、带走或局部土体产生移动，导致土体变形。渗透变形又分为流土和管涌。在堤坝工程和地下结构施工过程中，经常会发生由于渗透变形造成的工程事故。

（四）液化问题

在动力荷载（地震、机器以及车辆、爆破和波浪）作用下，会引起饱和松散砂土（包括部分粉土）产生液化，它是使土体失去抗剪强度近似液体特性的一种动力现象，并会造成地基失稳和震陷。

（五）沉降、水平位移和不均匀沉降问题

当地基在上部结构的自重及外荷载作用下产生过大的变形时，会影响结构物的正常使用，特别是超过建筑所能容许的不均匀沉降时，结构可能开裂破坏。

当建筑物的天然地基存在上述问题之一或其中几个时，需要对天然地基进行地基处理。天然地基通过地基处理，形成人工地基，从而满足建筑物对地基的各种要求。

三、不良地基的类型和特性

1. 不良地基的概念

不良地基是指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其

他高压压缩性土层构成的地基。在建筑地基的局部范围内有高压压缩性土层时,也应按局部软弱土层考虑。

2. 不良地基土的类型及特性

不良地基土的类型及特性见表 1-1。

表 1-1 不良地基土的类型及特性

序号	类别	基本内容
1	软黏土	软黏土也称软土,是软弱黏性土的简称。它形成于第四纪晚期,属于海相、泻湖相、河谷相、湖沼相、溺谷相、三角洲相等的黏性沉积物或河流冲积物。多分布于沿海、河流中下游或湖泊附近地区。常见的软弱黏性土是淤泥和淤泥质土。软土的物理力学性质包括如下几个方面: (1) 物理性质 黏粒含量较多,塑性指数一般大于 17,属黏性土。软黏土多呈深灰、暗绿色,有臭味,含有机质,含水量较高、一般大于 40%,而淤泥也有大于 80% 的情况。孔隙比一般为 1.0~2.0,其中孔隙比为 1.0~1.5 称为淤泥质黏土,孔隙比大于 1.5 时称为淤泥。由于其高黏粒含量、高含水量、大孔隙比,因而其力学性质也就呈现与之对应的特点——低强度、高压缩性、低渗透性、高灵敏度 (2) 力学性质 软黏土的强度极低,不排水强度通常仅为 5~30kPa,表现为承载力基本值很低,一般不超过 70kPa,有的甚至只有 20kPa。软黏土尤其是淤泥灵敏度较高,这也是区别于一般黏土的重要指标 软黏土的压缩性很大。压缩系数大于 0.5MPa,最大可达 45MPa,压缩指数约为 0.35~0.75。通常情况下,软黏土层属于正常固结土或微超固结土,但有些土层特别是新近沉积的土层有可能属于欠固结土 渗透系数很小是软黏土的又一重要特点,一般在 $10^{-5} \sim 10^{-8} \text{cm/s}$ 之间,渗透系数小则固结速率就很慢,有效应力增长缓慢,从而沉降稳定慢,地基强度增长也十分缓慢。这一特点是严重制约地基处理方法和处理效果的重要方面 (3) 工程特性 软黏土地基承载力低,强度增长缓慢;加荷后易变形且不均匀;变形速率大且稳定时间长;具有渗透性小、触变性及流变性大的特点。常用的地基处理方法有预压法、置换法、搅拌法等

(续)

序号	类别	基本内容
2	杂填土	杂填土主要出现在一些老的居民区和工矿区内,是人们的生活和生产活动所遗留或堆放的垃圾土。这些垃圾土一般分为三类:即建筑垃圾土、生活垃圾土和工业生产垃圾土。不同类型的垃圾土、不同时间堆放的垃圾土很难用统一的强度指标、压缩指标、渗透性指标加以描述 杂填土的主要特点是无规划堆积、成分复杂、性质各异、厚薄不均、规律性差。因而同一场地表现为压缩性和强度的明显差异,极易造成不均匀沉降,通常都需要进行地基处理
3	冲填土	冲填土是人为的用水力冲填方式而沉积的土。近年来多用于沿海滩涂开发及河漫滩造地。西北地区常见的水坠坝(也称冲填坝)即是冲填土堆筑的坝。冲填土形成的地基可视为天然地基的一种,它的工程性质主要取决于冲填土的性质。冲填土地基一般具有如下一些重要特点: 1) 颗粒沉积分选性明显,在入泥口附近,粗颗粒较先沉积,远离入泥口处,所沉积的颗粒变细;同时在深度方向上存在明显的层理 2) 冲填土的含水量较高,一般大于液限,呈流动状态。停止冲填后,表面自然蒸发后常呈龟裂状,含水量明显降低,但下部冲填土当排水条件较差时仍呈流动状态,冲填土颗粒越细,这种现象越明显 3) 冲填土地基早期强度很低,压缩性较高,这是因冲填土处于欠固结状态。冲填土地基随静置时间的增长逐渐达到正常固结状态。其工程性质取决于颗粒组成、均匀性、排水固结条件以及冲填后静置时间
4	饱和松散砂土	粉砂或细砂地基在静荷载作用下常具有较高的强度。但是当振动荷载(地震、机械振动等)作用时,饱和松散砂土地基则有可能产生液化或大量震陷变形,甚至丧失承载力。这是因为土颗粒松散排列并在外部动力作用下使颗粒的位置产生错位,以达到新的平衡,瞬间产生较高的超静孔隙水压力,有效应力迅速降低。对这种地基进行处理的目的是使它变得较为密实,消除在动荷载作用下产生液化的可能性。常用的处理方法有挤出发、振冲法等

(续)

序号	类别	基本内容
5	湿陷性黄土	在上覆土层自重应力作用下,或者在自重应力和附加应力共同作用下,因浸水后土的结构破坏而发生显著附加变形的土称为湿陷性土,属于特殊土。有些杂填土也具有湿陷性。广泛分布于我国东北、西北、华中和华东部分地区的黄土多具湿陷性(这里所说的黄土泛指黄土和黄土状土。湿陷性黄土又分为自重湿陷性和非自重湿陷性黄土,也有的老黄土不具湿陷性)。在湿陷性黄土地基上进行工程建设时,必须考虑因地基湿陷引起附加沉降对工程可能造成的危害,选择适宜的地基处理方法,避免或消除地基的湿陷或因少量湿陷所造成的危害
6	膨胀土	膨胀土的矿物成分主要是蒙脱石,它具有很强的亲水性,吸水时体积膨胀,失水时体积收缩。这种胀缩变形往往很大,极易对建筑物造成损坏。膨胀土在我国的分布范围很广,如广西、云南、河南、湖北、四川、陕西、河北、安徽、江苏等地均有不同范围的分布。膨胀土是特殊土的一种,常用的地基处理方法有换土、土性改良、预浸水,以及防止地基土含水量变化等工程措施
7	含有机质土和泥炭土	当土中含有不同的有机质时,将形成不同的有机质土,在有机质含量超过一定含量时就形成泥炭土,它具有不同的工程特性,有机质的含量越高,对土质的影响越大,主要表现为强度低、压缩性大,并且对不同工程材料的掺入有不同影响等,对直接工程建设或地基处理构成不利的影响
8	山区地基土	山区地基土的地质条件较为复杂,主要表现在地基的不均匀性和场地稳定性两个方面。由于自然环境和地基土的生成条件影响,场地中可能存在大孤石,场地环境也可能存在滑坡、泥石流、边坡崩塌等不良地质现象。它们会给建筑物造成直接的或潜在的威胁。在山区地基建造建筑物时要特别注意场地环境因素及不良地质现象,必要时对地基进行处理
9	岩溶(喀斯特)	在岩溶(喀斯特)地区常存在溶洞或土洞、溶沟、溶隙、洼地等。地下水的冲蚀或潜蚀使其形成和发展,它们对结构物的影响很大,易于出现地基不均匀变形、崩塌和陷落。因此在修建结构物之前,必须进行必要的处理

四、场地的定义

1. 广义

场地包括该有限面积土地在内的并对其稳定性有直接影响的某个微地貌、地形和不良地质单元，包括古滑坡区、古断层区、地震构造带等。

2. 狭义

狭义的场地是指工程建设所直接占有并直接使用的有限面积的土地。此有限面积土地的稳定性常受到较大范围内的地质环境的影响。

五、基础

（一）基础的定义

基础是指建筑物向地基传递荷载的下部结构，具有承上启下的作用。处于上部结构的荷载及地基反力的相互作用下，承受由此而产生的内力（轴力、剪力和弯矩）。基础底面的反力反过来又作为地基上的荷载，使地基土产生应力和变形。

（二）基础的类型

按基础埋深的不同，可以将基础的类型分为：

1. 浅基础

是指埋深不超过 5m，只需经过挖槽、排水等普通施工程序建造起来的基础。浅基础主要有独立基础、条形基础和筏形基础。

2. 深基础

它将上部荷载传递到下面较坚硬的地层上。当浅层土质不良，需把基础埋置于深处的较好地层时，就要建造各种类型的深基础，如桩基础、墩基础、沉井或沉箱基础、地下连续墙等。

3. 刚性基础

刚性基础是指用抗压强度较高而抗弯强度和抗拉强度较低的

材料建造的基础。刚性基础常用的材料主要有：混凝土、粗料石和片石。混凝土是修筑基础最常用的材料，强度高、耐久性好，可浇筑成任意形状的砌体，混凝土强度等级一般不宜小于 C15。

刚性基础的特点：

(1) 优点 稳定性好，施工简便，能承受较大的荷载。

(2) 缺点 自重大，并且当持力层为软弱土时，由于扩大基础面积有一定限制，需要对地基进行处理或加固后才能采用，否则会因所受的荷载压力超过地基强度而影响建筑物的正常使用，如图 1-1b 所示。

4. 柔性基础

柔性基础是指用抗拉强度和抗弯强度都很高的材料建造的基础，一般用钢筋混凝土制作。它适用于上部结构荷载比较大、地基比较柔软、用刚性基础不能满足要求的情况。

基础在基底压力作用下，在 $a-a$ 断面产生弯曲拉应力和剪应力若超过了基础圬工的强度极限值，为防止基础在 $a-a$ 截面开裂甚至断裂，可将刚性基础尺寸重新设计，在基础中配置足够数量的钢筋，这种基础称为柔性基础，如图 1-1a 所示。

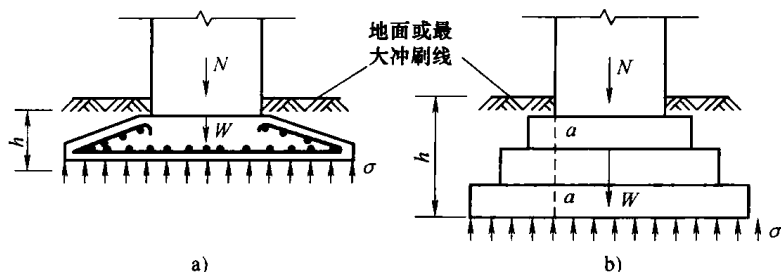


图 1-1 建筑基础

5. 扩展基础

扩展基础是一种起到压力扩散作用的基础。将上部结构传来的荷载，通过向侧边扩展成一定底面积，使作用在基底的压应力等于或小于地基土的允许承载力，而基础内部的应力应同时满足材料本身的强度要求。

6. 沉井基础

沉井是将上下开敞的井筒沉入地基，作为建筑物基础。沉井有较大的刚度，抗震性能好，可作为承重基础和防渗结构。

7. 沉箱基础

沉箱的形状、结构、用途与沉井类似，只是在井筒下端设有密闭的工作室，下沉时，把压缩空气压入工作室内，防止水和土从底部流入，工人可直接在工作室内干燥状态下施工。

8. 地下连续墙

是利用专门机具在地基中造孔、泥浆固壁、灌注混凝土等材料而建成的承重或防渗结构物。它可作水工建筑物的混凝土防渗墙，也可作一般土木建筑的挡土墙、地下工程的侧墙等。墙厚一般为40~130cm。

9. 高压喷射灌浆

通过钻入土层中的灌浆管，用高压压入某种流体和水泥浆液，从钻杆下端的特殊喷嘴以高速喷射出去的地基处理方法。在喷射的同时，钻杆以一定速度旋转并逐渐提升；高压射流使四周一定范围内的土体结构遭受破坏并被强制与浆液混合，凝固成具有特殊结构的圆柱体，也称为旋喷桩。

10. 桩基础

桩基的作用是将荷载通过桩传给埋藏较深的坚硬土层，或通过桩周围的摩擦力传给地基。按照施工方法可分为钢筋混凝土预制桩和灌注桩；根据桩的受力条件及桩侧摩阻力和桩端阻力的发挥程度及分担比例，可以将桩基分为端承型桩和摩擦型桩。

(1) 桩基础的特点 承载力高、稳定性好、沉降量小；耗材少、施工简单。

(2) 桩基础的适用范围

1) 不允许地基有过大沉降和不均匀沉降的高层建筑或其他重要的建筑物。

2) 重型工业厂房和荷载很大的建筑物。

3) 作用有较大水平力和力矩的高耸建筑物的基础。

4) 河床冲刷较大、河道不稳定或冲刷深度不易计算,如采用浅基础施工困难或不能保证基础安全时。

5) 需要减弱其振动影响的动力机器基础。

6) 在可液化地基中,采用桩基础可增加结构的抗震能力,防止砂土液化。

7) 荷载较大,地基上部土层软弱,适宜的地基持力层位置较深,采用浅基础或人工地基在技术、经济上不合理时。

第二节 地基处理在建筑工程中的地位及作用

一、地基处理的目的和意义

(一) 目的

地基处理的目的是采用各种地基处理方法以改善地基条件,这些措施包括以下五个方面的内容。

1. 改善剪切特性

地基的剪切破坏表现在建筑物的地基承载力不够;使结构失稳或土方开挖时边坡失稳;使临近地基产生隆起或基坑开挖时坑底隆起。因此,为了防止剪切破坏,就需要采取增加地基土抗剪强度的措施。

2. 改善压缩特性

地基的高压缩性表现在建筑物的沉降和差异沉降大,因此需要采取措施提高地基土的压缩模量。

3. 改善透水特性

地基的透水性表现在堤坝、房屋等基础产生的地基渗漏;基坑开挖过程中产生流沙和管涌。因此需要研究和采取使地基土变成不透水或减少其水压力的措施。

4. 改善动力特性

地基的动力特性表现在地震时粉土、砂土将会产生液化;由于交通荷载或打桩等原因,使邻近地基产生振动下沉。因此需要

研究和采取使地基土防止液化,并改善动力特性以提高地基抗震性能的措施。

5. 改善特殊土的不良地基特性

主要是指消除或减少黄土的湿陷性和膨胀土的胀缩性地基处理的措施。

(二) 意义

- (1) 提高地基土的抗剪强度。
- (2) 降低地基土的压缩性。
- (3) 改善地基土的透水特性。
- (4) 改善地基的动力特性。
- (5) 改善特殊土的不良地基特性。

二、地基处理对象与方法

(一) 地基处理对象

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)中明确规定:“软弱地基是指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层构成的地基。”

特殊土地基带有地区性的特点,它包括软土、湿陷性黄土、膨胀土、红黏土和冻土等地基。

地基处理的对象是软弱地基和特殊性岩土地基。

软土是近代沉积物,其地质年龄一般为10 000~15 000年。所有的软土都是在淡水或盐水中沉积的。由于沉积的地质环境(如海滩、三角洲、河口湾、泻湖、湖泊、沼泽等)不同,其空间范围和天然性状也因其沉积环境及其水动力条件的变化而异。

冻土是指0℃以下,并含有冰的各种岩石和土。可分为短时冻土、季节冻土(半月至数月)以及多年冻土(数年至数万年以上)。

我国多年冻土主要集中分布在大、小兴安岭以及西藏高原;平面分布服从纬度地带性规律及海拔高的地方冻土面积越大厚度越厚的规律。

(二) 地基处理方法

1. 地基处理方法的选用原则

选用地基处理方法要力求做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境。我国地域辽阔,工程地质和水文地质条件千变万化,各地施工机械条件、技术水平、经验积累以及建筑材料品种与价格差异很大,在选用地基处理方法时一定要因地制宜,要充分发挥各地的优势,有效地利用地方资源。

2. 地基处理的核心

地基处理的核心是处理方法的正确选择与实施。而对于具体工程来讲,在选择处理方法时需要综合考虑各种影响因素,包括:建筑的体型、刚度,结构受力体系,建筑材料和使用要求,荷载大小、分布和种类,基础类型、布置和埋深,基底压力,天然地基承载力,稳定安全系数,变形容许值,地基土的类别、加固深度、上部结构要求、周围环境条件,材料来源,施工工期,施工队伍技术素质,施工技术条件,设备状况和经济指标等。

对地基条件复杂,需要应用多种处理方法的重大项目,还要详细调查施工区内地形及地质成因、地基成层状况、软弱土层厚度、不均匀性和分布范围、持力层位置及状况、地下水情况及地基土的物理和力学性质;施工中需考虑对场地及邻近建筑可能产生的影响、占地大小、工期及用料等。只有综合分析上述因素,才能获得最佳的处理效果。

3. 地基处理方案的确定步骤

(1) 收集详细的工程地质、水文地质及地基基础的设计资料。

(2) 对初步选定的各种地基处理方案,分别从处理效果、材料来源及消耗、机具条件、施工进度、环境影响等方面进行认真的技术经济分析和对比,根据安全可靠、施工方便、经济合理等原则,因地制宜地选择最佳的处理方法。每一种处理方法都有其对应的适用范围和优缺点,有时也可选择两种或多种地基处理方法组成的综合方案。

(3) 对已选定的地基处理方法,应按建筑的重要性和场地复杂程度,可在有代表性的场地上进行相应的现场试验和试验性施工,并进行必要的测试,以验算设计参数。

(4) 根据结构类型、荷载大小及使用要求,结合地形地貌、地层结构、土质条件、地下水特征、周围环境和相邻建筑等因素,初步拟定几种可供选择的地基处理方案。在选择地基处理方案时,要考虑上部结构、基础和地基的共同作用;也可选用加强结构措施和处理地基相结合的方案。

4. 地基处理方法的划分依据

地基处理方法的分类可有多种。具体包括:

(1) 按时间可分为临时处理和永久处理。

(2) 按处理深度可分为浅层处理和深层处理。

(3) 按处理土性对象可分为砂性土处理和黏性土处理、饱和土处理和非饱和土处理。

(4) 按照地基处理的作用机理可分为物理处理和化学处理。

(5) 按机理划分,地基处理可分为置换、夯实、挤密、排水、胶结、加筋和冷热等处理方法。

5. 常用的地基处理方法原理

(1) 置换 是指用物理力学性质较好的岩土材料置换天然地基中部分或全部软弱土体,以形成双层地基或复合地基,达到提高地基承载力、减少沉降的目的。

(2) 排水固结 是指土体在一定荷载作用下排水固结,孔隙比减小,抗剪强度提高,以达到提高地基承载力,减少完工后沉降的目的。

属于排水固结的地基处理方法按在地基中设置竖向排水系统可分为:普通砂井法、袋装砂井法和塑料排水带法等。

排水固结法的适用条件和特点有:

1) 适用于处理厚度较大的饱和软土和冲填土地基,但对于厚度较大的泥炭层要慎重对待。

2) 需要有预压时间和荷载条件及土石方搬运机械。