



21 世纪高等学校规划教材

21Shiji Gaodeng Xuexiao Guihua Jiaocai

地基处理

Diji Chuli

● 孙 静 主编

 中国质检出版社

21 世纪高等学校规划教材

DIJI CHULI

地基处理

孙 静 主 编
徐 岩 副主编

中国质检出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

地基处理/孙静主编. —北京: 中国质检出版社, 2012

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5026-3534-3

I. ①地… II. ①孙… III. ①地基处理 IV. ①TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 244332 号

内 容 提 要

本书主要介绍常用地基处理方法的加固原理、适用范围、设计方法、施工工艺和质量检验方法, 既有建(构)筑物地基加固, 以及国内外地基处理新技术的发展概况。本书共十二章, 主要内容包括: 概述、换填垫层法、排水固结法、强夯法和强夯置换法、碎(砂)石桩法、石灰桩法、土(灰土)桩法、水泥粉煤灰碎石桩法、水泥土搅拌法、高压喷射注浆法、既有建(构)筑物地基加固与基础托换技术、坝基处理。

本书可作为高等学校土木工程专业本科教材, 亦可供从事地基处理研究的科技人员和工程技术人员参考。

中国质检出版社出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100013)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010) 64275323 发行中心: (010) 51780235

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 15 字数 357 千字

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月第一次印刷

*

定价: 30.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

编 审 委 员 会

顾 问 赵惠新 (黑龙江大学)
主 任 邓寿昌 (中南林业科技大学)
副主任 刘殿忠 (吉林建筑工程学院)

姜连馥 (深圳大学)
高 潮 (大连水产学院)
郇 伟 (惠州学院)
薛志成 (黑龙江科技学院)

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁 琳 (黑龙江大学)
叶 青 (浙江工业大学)
刘 东 (东北农业大学)
关 萍 (大连大学)
张兆强 (黑龙江八一农垦大学)
张季超 (广州大学)
张燕坤 (北方工业大学)
杨 璐 (沈阳工业大学)
侯 威 (内蒙古工业大学)
赵文军 (黑龙江大学)
郭宗河 (青岛理工大学)
原 方 (河南工业大学)
徐建国 (郑州大学)

— 本 书 编 委 会 —

主 编 孙 静（黑龙江大学）

副主编 徐 岩（沈阳建筑大学）

编 委 赵安平（黑龙江大学）

史永强（沈阳建筑大学）

伴随着近年来经济的空前发展和社会各项改革的不断深化，建筑业已成为国民经济的支柱产业和重要的经济增长点。该行业的快速发展对整个社会经济起到了良好的推动作用，尤其是房地产业和公路桥梁等各项基础设施建设的深入开展和逐步完善，也进一步促使整个国民经济逐步走上了良性发展的道路。与此同时，建筑行业自身的结构性调整也在不断进行，这种调整使其对本行业的技术水平、知识结构和人才特点提出了更高的要求，因此，近年来教育部对高校土木工程类各专业的发展日益重视，并连年加大投入以提高教育质量，以期向社会提供更加适应经济发展的应用型技术人才。为此，教育部对高等院校土木工程类专业的具体设置和教材目录也多次进行了相应的调整，使高等教育逐步从偏重于理论的教育模式中脱离出来，真正成为为国家培养生产一线的高级技术应用型人才的教育，“十一五”期间，这种转化将加速推进并最终得以完善。为适应这一特点，编写高等院校土木工程类各专业所需教材势在必行。

针对以上变化与调整，由中国质检出版社（原中国计量出版社）牵头组织了 21 世纪高等学校规划教材的编写与出版工作，该套教材主要适用于高等院校的土木工程、工程监理以及道路与桥梁等相关专业。由于该领域各专业的技术应用性强、知识结构更新快，因此，我们有针对性地组织了中南林业科技大学、深圳大学、大连海洋大学、黑龙江大学、吉林建筑工程学院、浙江工业大学、东北农业大学、大连大学、沈阳工业大

学、青岛理工大学、郑州大学、河南工业大学以及北方工业大学等多所相关高校、科研院所以及企业中兼具丰富工程实践和教学经验的专家学者担当各教材的主编与主审，从而为我们成功推出该套框架好、内容新、适应面广的好教材提供了必要的保障，以此来满足土木工程类各专业普通高等教育的不断发展和当前全社会范围内建设工程项目安全体系建设的迫切需要；这也对培养素质全面、适应性强、有创新能力的应用型技术人才，进一步提高土木工程类各专业高等教育教材的编写水平起到了积极的推动作用。

针对应用型人才培养院校土木工程类各专业的实际教学需要，本系列教材的编写尤其注重了理论与实践的深度融合，不仅将建筑领域科技发展的新理论合理融入教材中，使读者通过对教材的学习可以深入把握建筑行业发展的全貌，而且也将建筑行业的新知识、新技术、新工艺、新材料编入教材中，使读者掌握最先进的知识和技能，这对我国新世纪应用型人才的培养大有裨益。相信该套教材的成功推出，必将会推动我国土木工程类高等教育教材体系建设的逐步完善和不断发展，从而对国家的新世纪人才培养战略起到积极的促进作用。

教材编审委员会

2011 年 10 月

前言 FOREWORD

我国经济发展的蓬勃发展给土木工程领域提出了许多新的课题，特别是近年来土木工程的规模越来越大，对地基的承载力与变形的要求越来越高，而天然地基往往不能满足其要求。另外，由于建筑物的增多，人们不得不在工程地质条件差的地方兴建工程，于是就需要对天然地基进行处理。因此，地基处理在土木工程领域成为热点问题。

地基处理是土木工程专业岩土工程课程群的一门专业课，也可作为道路与桥梁工程、建筑工程等课程群的重要选修课。本书以满足应用型人才培养为目标，参照最新的相关规范编写。作为应用型土木工程专业的大专学生，在学习土力学、基础工程等基本理论的基础上，有必要掌握一些地基处理的方法和技术，从而缩短参加工作后的适应期，增强其解决问题的能力。

本教材主要讲述常用地基处理方法的加固原理、适用范围、设计方法、施工工艺和质量检验方法，包括换填垫层法、排水固结法、强夯法和强夯置换法、碎（砂）石桩法、石灰桩法、土（灰土）桩法、水泥粉煤灰碎石桩法、水泥土搅拌法、高压喷射注浆法、既有建（构）筑物地基加固与基础托换技术、坝基处理等。本书力求体现如下特色：

1. 结合《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79—2002）和

《地基处理手册（第三版）》（中国建筑工业出版社，2008）的技术要求编写，体现国家最新规范和技术规程，反映国内外最新研究成果和理论。

2. 地基处理方法名目繁多，本书仅对常用的地基处理方法进行详细介绍，并着重阐明各种地基处理方法的加固机理、适用范围、设计计算和施工方法，具有一定实用性。教材内容深入浅出，易于自学。

3. 本教材注重理论与工程实际相结合。每一章后面都设置独立的一节“工程实例”，通过介绍工程实例使读者在掌握地基处理基本理论的基础之上，更清楚所述理论为何而建，有何用途，以及如何在工程实际中应用。

本书共分十二章，其中第一章、第二章和第三章由黑龙江大学建筑工程学院的孙静编写；第四章、第五章和第六章由黑龙江大学建筑工程学院的赵安平编写；第七章、第十章和第十二章由沈阳建筑大学土木工程学院的徐岩编写；第八章、第九章和第十一章由沈阳建筑大学土木工程学院的史永强编写；全书由孙静统稿。

本书在编写过程中得到了黑龙江大学建筑工程学院和沈阳建筑大学土木工程学院的支持，在此表示感谢。书中参考资料虽力求注明出处，但仍难免遗漏，在此谨向所有原作者致谢，并对遗漏姓名的原作者诚致歉意。

限于编者的水平和经验，本书偏颇和疏漏在所难免，诚恳地希望读者不吝指正。

编 者

2011 年 10 月

目 录 CONTENTS

第一章 概述	(1)
第一节 地基处理及其目的	(1)
第二节 地基处理的对象及特征	(2)
第三节 地基处理方法分类及适用范围	(4)
第四节 地基处理方案选择的原则	(8)
第五节 地基处理技术发展历史与展望	(9)
复习思考题	(11)
第二章 换填垫层法	(12)
第一节 概述	(12)
第二节 压实原理	(13)
第三节 垫层设计	(14)
第四节 垫层施工	(21)
第五节 质量检验	(26)
第六节 工程实例	(27)
复习思考题	(28)
第三章 排水固结法	(29)
第一节 概述	(29)
第二节 加固机理	(30)
第三节 设计计算	(34)
第四节 施工方法	(44)
第五节 现场观测与质量检验	(48)
第六节 工程实例	(50)
复习思考题	(52)

第四章 强夯法和强夯置换法	(53)
第一节 概述	(53)
第二节 加固机理	(54)
第三节 设计计算	(56)
第四节 施工方法	(62)
第五节 质量检验	(64)
第六节 工程实例	(66)
复习思考题	(68)
第五章 碎 (砂) 石桩法	(69)
第一节 概述	(69)
第二节 加固原理	(70)
第三节 设计计算	(73)
第四节 施工方法	(81)
第五节 质量检验	(85)
第六节 工程实例	(86)
复习思考题	(87)
第六章 石灰桩法	(88)
第一节 概述	(88)
第二节 加固机理	(88)
第三节 设计计算	(89)
第四节 施工方法	(90)
第五节 质量检验	(92)
第六节 工程实例	(93)
复习思考题	(96)
第七章 土 (灰土) 桩法	(97)
第一节 概述	(97)
第二节 加固机理	(97)
第三节 设计计算	(100)
第四节 施工方法	(104)
第五节 质量检验	(108)
第六节 工程实例	(109)

复习思考题	(112)
第八章 水泥粉煤灰碎石桩法	(114)
第一节 加固机理	(114)
第二节 设计计算	(122)
第三节 施工方法	(127)
第四节 质量检验	(133)
第五节 工程实例	(134)
复习思考题	(136)
第九章 水泥土搅拌法	(137)
第一节 加固机理	(137)
第二节 水泥加固土工程性能	(140)
第三节 设计计算	(145)
第四节 施工工艺	(149)
第五节 工程实例	(150)
复习思考题	(153)
第十章 高压喷射注浆法	(154)
第一节 概述	(154)
第二节 加固机理	(158)
第三节 设计计算	(166)
第四节 施工方法	(172)
第五节 质量检验	(180)
第六节 工程实例	(182)
复习思考题	(185)
第十一章 既有建（构）筑物地基加固与基础托换技术	(186)
第一节 概述	(186)
第二节 基础加宽和加深技术	(192)
第三节 锚杆静压桩技术	(195)
第四节 树根桩技术	(201)
第五节 其他加固技术	(205)
第六节 工程实例	(208)
复习思考题	(209)

第十二章 坝基处理 (210)

 第一节 概述 (210)

 第二节 坝基加固 (211)

 第三节 坝基防渗 (213)

 第四节 坝基处理检查与监测 (218)

 第五节 工程实例 (220)

 复习思考题 (224)

参考文献 (225)

第一章 概 述

第一节 地基处理及其目的

随着我国国民经济的发展,各种建(构)筑物也日益发展,一般情况应当选择良好的地基来承建建(构)筑物,但有时也不得不在地质条件不良的地基上兴建。另外,随着科学技术的日新月异,建(构)筑物的规模越来越大,对地基承载力与变形的要求也越来越严,一般的天然地基往往不能满足要求,人们采取措施提高地基承载力,改善其变形和渗透性质,这种人工处理地基的方法,即地基处理。

一、地基处理

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。场地范围内及其邻近的地质环境都会直接影响场地的稳定性。场地评价对工程的总体规划具有深远的实际意义,关系到工程的安全性和工程造价。

地基是指承托建筑物基础的这一部分范围很小的场地。近年来在工程建设中,遇到越来越多的地基问题,建筑物的地基所面临的问题主要有以下五个方面:①强度及稳定性问题;②压缩及不均匀沉降问题;③渗漏问题;④液化问题;⑤特殊土的特殊问题。当建筑物的天然地基存在上述五类问题之一或其中几个时,即须采用地基处理措施以保证建筑物的安全与正常使用。地基与建筑物的关系极为密切,而地基问题常常是造成工程事故的主要原因。

基础是指建筑物向地基传递荷载的下部结构,它具有承上启下的作用。它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)。另外,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。地基和基础的设计是不可截然分割的,基础设计时,除需保证基础结构本身具有足够刚度和强度外,同时还需选择合理的基础尺寸和布置方案,使地基的强度和变形满足规范的要求。

凡是基础直接建造在未经加固的天然土层上时,这种地基称之为天然地基。若天然地基很软弱,不能满足地基强度和变形等要求,则事先要经过人工处理后再建造基础,这种地基加固称为地基处理。

我国地域辽阔,从沿海到内地,由山区到平原,分布着多种多样的地基土,因土的种类不同其抗剪强度、压缩性以及透水性等可能存在很大的差别,地基条件区域性很强。一些软弱地基或特殊土地基往往需要进行地基处理才可使用。另外,随着结构物的荷载日益增大,对变形的要求也越来越严,因而原来一般可被评价为良好的地基,也可能在特定条件下需要进行地基处理。

二、地基处理的目的

地基处理的目的是利用换填、夯实、挤密、排水、胶结、加筋和热学等方法对地基土进行加固,用以改良地基土的工程特性。

1. 提高地基的抗剪切强度

地基的剪切破坏表现在建筑物的地基承载力不够;由于偏心荷载及侧向土压力的作用使结构物失稳;由于填土或建筑物荷载,使邻近地基产生隆起;土方开挖时边坡失稳;基坑开挖时坑底隆起。地基的剪切破坏反映在地基土的抗剪强度不足。因此,为了防止剪切破坏,需要采取一定措施以增加地基土的抗剪强度。

2. 降低地基的压缩性

地基的压缩性表现在建筑物的沉降和差异沉降大;由于有填土或建筑物荷载,使地基产生固结沉降;作用于建筑物基础的负摩擦力引起建筑物的沉降;大范围地基的沉降和不均匀沉降;基坑开挖引起邻近地面沉降;由于降水地基产生固结沉降。地基的压缩性反映在地基土的压缩模量指标的大小。因此,需要采取措施以提高地基土的压缩模量,借以减少地基的沉降或不均匀沉降。

3. 改善地基的透水特性

地基的透水性表现在堤坝等基础产生的地基渗漏;基坑开挖工程中,因土层内夹薄层粉砂或粉土而产生流砂和管涌。以上都是在地下水的运动中所出现的问题。为此,必须采取措施使地基土降低透水性或减少其水压力。

4. 改善地基的动力特性

地基的动力特性表现在地震时饱和松散粉细砂(包括部分粉土)将产生液化;由于交通荷载或打桩等原因,使邻近地基产生振动下沉。为此,需要采取措施防止地基液化,并改善其振动特性以提高地基的抗震性能。

5. 改善特殊土的不良地基特性

主要是消除或减少特殊土地基的一些不良工程性质,如黄土的湿陷性、膨胀土的胀缩性和冻土的冻胀融沉性等。

第二节 地基处理的对象及特征

地基处理的对象是软弱地基和特殊土地基。我国《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)中规定:软弱地基系指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层构成的地基。特殊土地基大部分带有地区特点,它包括软土、湿陷性黄土、膨胀土、红黏土、冻土和岩溶等。

一、软弱地基

(一) 淤泥和淤泥质土

淤泥和淤泥质土是在静水或非常缓慢的流水环境中沉积,经生物化学作用形成的地基土,两者统称软土。软土的特性是天然含水量高、天然孔隙比大、抗剪强度低、压缩系数高、

渗透系数小,承载后变具有承载力低、变形大,灵敏度高,且变形稳定历时较长的特点。

(二) 冲填土

冲填土是指整治和疏浚江河航道时,用挖泥船通过泥浆泵将泥砂夹大量水分吹到江河两岸而形成的沉积土,南方地区称吹填土。

如以黏性土为主的冲填土,因吹到两岸的土中含有大量水分且难于排出而呈流动状态,这类土是属于强度低和压缩性高的欠固结土。如以砂性土或其他粗颗粒土所组成的冲填土,其性质基本上和粉细砂相类似而不属于软弱土范畴。

(三) 杂填土

杂填土是指由人类活动而任意堆填的建筑垃圾、工业废料和生活垃圾而形成的土。杂填土的成因很不规律,组成的物质杂乱,分布极不均匀,结构松散。其受力特点是:强度低、压缩性高和均匀性差,一般还具有浸水湿陷性。对有机质含量较多的生活垃圾和对基础有侵蚀性的工业废料,未经处理不应作为持力层。

(四) 其他高压缩性土

主要指饱和松散粉细砂和部分粉土,在动力荷载(机械振动、地震等)重复作用下将产生液化;在基坑开挖时也会产生管涌。

二、特殊土地基

(一) 湿陷性黄土

凡天然黄土在上覆土的自重应力作用下,或在上覆土自重应力和附加应力作用下,受水浸润后土的结构迅速破坏而发生显著附加下沉的黄土,称为湿陷性黄土。

我国湿陷性黄土广泛分布在甘肃、陕西、黑龙江、吉林、辽宁、内蒙、山东、河北、河南、山西、宁夏、青海和新疆等地区。由于黄土的浸水湿陷引起建筑物的不均匀沉降是造成黄土地区事故的主要原因,设计时首先要判断是否具有湿陷性,再考虑如何进行地基处理。

(二) 膨胀土

膨胀土是指粘粒成分主要由亲水性黏土矿物组成的黏性土。它是一种吸水膨胀和失水收缩、具有较大的胀缩变形性能且是变形往复的高塑性黏土。利用膨胀土作为建筑物地基时,如果不进行地基处理,常会对建筑物造成危害。

我国膨胀土分布范围很广。在广西、云南、湖北、河南、安徽、四川、河北、山东、陕西、江苏、贵州和广东等地均有不同范围的分布。

(三) 红黏土

红黏土是指石灰岩和白云岩等碳酸盐类岩石在亚热带温湿气候条件下,经风化作用所形成的褐红色黏性土。通常红黏土是较好的地基土,但由于下卧岩面起伏及存在软弱土层,一般容易引起地基不均匀沉降。

我国红黏土主要分布在云南、贵州、广西等地。

(四) 季节性冻土

冻土是指气候在负温条件下,其中含有冰的各种土。季节性冻土是指在冬季冻结,而夏季融化的土层。多年冻土或永冻土是指冻结状态持续三年以上的土层。

季节性冻土因其周期性的冻结和融化,因而对地基的不均匀沉降和地基的稳定性影响较大。季节性冻土在我国东北、华北和西北广大地区均有分布,占中国领土面积一半以上,其南界西从云南章风,向东经昆明、贵阳,绕四川盆地北缘,到长沙、安庆、杭州一带。多年冻土分布在东北大、小兴安岭,西部阿尔泰山、天山、祁连山及青藏高原等地,总面积为全国领土面积的 $1/5$ 。

(五) 岩溶

岩溶主要出现在碳酸类岩石地区。其基本特性是地基主要受力层范围内受水的化学和机械作用而形成溶洞、溶沟、溶槽、落水洞以及土洞等。建造在岩溶地基上的建筑物,要慎重考虑可能会造成底面变形和地基陷落。

我国岩溶地基广泛分布在贵州和广西两省区。岩溶是以水的溶蚀为主,由潜蚀和机械塌陷作用而造成的。溶洞的大小不一,且沿水平方向延伸,有的溶洞已经干涸或被泥砂填实;有的有经常性水流。

土洞存在于溶沟发育、地下水在基岩上下频繁活动的岩溶地区,有的土洞已停止发育,有的在地下水丰富地区还可能发展,大量抽取地下水会加速土洞的发育,严重时可引起地面大量塌陷。

第三节 地基处理方法分类及适用范围

一、地基处理方法分类

对地基处理方法进行严格的统一分类是很困难的,地基处理方法分类的原则很多,即使根据同一原则进行分类,不同的专家也有不同的方法,不少地基处理方法具有多种效用,例如土桩和灰土桩既有挤密作用又有置换作用。另外,还有一些地基处理方法的加固机理以及计算方法目前还不是十分明确,尚需进一步探讨。而且,地基处理方法也在不断发展,功能不断扩大,也使地基处理方法分类变得更加困难。根据地基处理的加固原理,将地基处理方法分为八类。

(一) 置换法

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,减小沉降的目的。

加固原理主要属于置换的地基处理方法有:换土垫层法、挤淤置换法、褥垫法、砂石桩置换法、强夯置换法等。采用石灰桩法加固地基具有多种效用,其中也有置换效用,故也将它包括在这一部分。另外,气泡混合轻质料填土法和 EPS 超轻质料填土法一般不是用于置换,