

SIMPLIFIED SERIES OF
CIVIL ENGINEERING

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

葛忻声 编著

简明土木工程系列专辑

区域性特殊土的地基处理技术



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

Simplified Series of Civil Engineering

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

葛忻声 编著

简明土木工程系列专辑

区域性特殊土的 地基处理技术



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内容提要

本书系“简明土木工程系列专辑”中的一本，它针对区域性特殊土的特点，分析并阐述了六大区域性特殊土（软土、湿陷性黄土、膨胀土、红黏土、冻土、盐渍土）的分布及工程特征，并据此提出相应的地基处理技术。书中结合现行规范和工程实例，并力求反映地基处理领域内的前沿动态。本书亦是对相关教学参考书的有益补充。

本书可供土木工程、岩土工程及相关专业的设计、施工及教学人员参考，也可作为土木工程、岩土工程专业的本科高年级学生和研究生的教材。

图书在版编目（CIP）数据

区域性特殊土的地基处理技术 / 葛忻声编著. — 北京：中国水利水电出版社，2011.2
（简明土木工程系列专辑 / 崔京浩主编）
ISBN 978-7-5084-8429-7

I. ①区… II. ①葛… III. ①地基 IV. ①TU44

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第025847号

书 名	简明土木工程系列专辑 区域性特殊土的地基处理技术
丛书主编	崔京浩
作 者	葛忻声 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	140mm×203mm 32开本 8印张 215千字
版 次	2011年2月第1版 2011年2月第1次印刷
印 数	0001—3100册
定 价	20.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

清华大学土木工程系组编

简明土木工程系列专辑

编 委 会

名誉主编 陈肇元 袁 驷

主 编 崔京浩

副 主 编 石永久 宋二祥

编 委 (按汉语拼音排序)

陈永灿 胡和平 金 峰 李庆斌

刘洪玉 钱稼茹 王志浩 王忠静

武晓峰 辛克贵 阳 森 杨 强

余锡平 张建民 张建平

总 序

国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程（Civil Engineering）是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术”。土木工程是一个专业覆盖面极广的一级学科。

英语中“Civil”一词的意义是民间的和民用的。“Civil Engineering”一词最初是对应于军事工程（Military Engineering）而诞生的，它是指除了服务于战争设施以外的一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称，后来这个界定就不那么明确了。按照学科划分，地下防护工程、航天发射塔架等设施也都属于土木工程的范畴。

土木工程是国家的基础产业和支柱产业，是开发和吸纳我国劳动力资源的一个重要平台，由于它投入大、带动的行业多，对国民经济的消长具有举足轻重的作用。改革开放后，我国国民经济持续高涨，土建行业的贡献率达到 1/3；近年来，我国固定资产的投入接近甚至超过 GDP 总量的 50%，其中绝大多数都与土建行业有关。随着城市化的发展，这一趋势还将继续呈现增长的势头。

相对于机械工程等传统学科而言，土木工程诞生得更早，其发展及演变历史更为古老。同时，它又是一个生命力极强的学科，它强大的生命力源于人类生活乃至生存对它的依赖，甚至可以毫不夸张地说，只要有人类存在，土木工程就有着强大的社会需求和广阔的发展空间。

随着技术的进步和时代的发展，土木工程不断注入新鲜血液，呈现出勃勃生机。其中工程材料的变革和力学理论的发展起

着最为重要的推动作用。现代土木工程早已不是传统意义上的砖瓦灰砂石，而是由新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法武装起来的为众多领域和行业不可或缺的大型综合性学科，一个古老而又年轻的学科。

综上所述，土木工程是一个历史悠久、生命力强、投入巨大、对国民经济具有拉动作用、专业覆盖面和行业涉及面极广的一级学科和大型综合性产业，为它编写一套集新颖性、实用性和科学性为一体的“简明系列专辑”，既是社会的召唤和需求，也是我们的责任和义务。

清华大学土木工程系是清华大学建校后成立最早的科系之一，历史悠久，实力也比较雄厚，有较强的社会影响和较广泛的社会联系，组编一套“简明土木工程系列专辑”，既是应尽的责任也是一份贡献，但面对土木工程这样一个覆盖面极广的一级学科，我们组编实际起两个作用：其一是组织工作，组织广大兄弟院校及设计施工部门的专家和学者们编写；其二是保证质量的作用，我们有一个较为完善的专家库，必要时请专家审阅、定稿。

简明土木工程系列专辑包括以下几层含义：简明，就是避免不必要的理论证明和繁琐的公式推导，采用简洁明快的表述方法，图文并茂，深入浅出，浅显易懂；系列，指不是一本书而是一套书，这套书力争囊括土木工程涵盖的各个次级学科和专业；专辑，就是以某个特定内容编辑成册的图书，每本书的内容可以是某种结构的分析与计算，某个设计施工方法，一种安装工艺流程，某种监测判定手段，一个特定的行业标准，等等，均可独立成册。

这套丛书不称其为“手册”而命名为“系列专辑”，原因之一是一些特定专题不易用手册的方法编写；原因之二是传统的手册往往“大而全”，书厚且涉及的技术领域多，而任何一个工程技术人员在某一个阶段所从事的具体工作又是针对性很强的，将几个专业甚至一个项目的某个阶段集中在一本“大而全”的手册势必造成携带、查阅上的不方便，加之图书的成本过高，编写机构臃肿，组织协调困难，出书及再版周期过长，以致很难反映现

代技术飞速发展、标准规范规程更新速度太快的现实。考虑到这些弊端，这套系列专辑采用小开本，在选题上尽量划分得细一些，视专业、行业、工种甚至流程的不同，能独立成册的绝不合二为一，每本书原则上只讨论一个专题，根据专题的性质和特点有的书名仍冠以“手册”两字。

这套系列专辑的编写严格贯彻“新颖性、实用性、科学性”三大原则。

新颖性，就是充分反映有关新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法，老的、过时的、已退出市场的一律不要。体现强劲的时代风貌。

实用性，就是避免不必要的说理和冗长的论述，尽可能从实用的角度用简洁的语言以及数据、表格、曲线图形来表述；深入浅出，让人一看就懂，一懂能用；不是手册，胜似手册。

科学性，就是编写内容均有出处，参考文献除国家标准、行业标准、地方标准必须列出以外，尚包括引用的论文、专著、手册及教科书。

这套系列专辑的读者对象是比较宽泛的，它包括大专院校师生，土木工程领域的管理、设计、施工人员，以及具有一定阅读能力的建筑工人。它既可作为土建技术人员随身携带及时查阅的手册，又可选作大专院校、高职高专的教材及专题性教辅材料。

崔京浩

2005年10月于清华园

崔京浩，男，山东淄博人。1960年清华大学土建系毕业，1964年清华大学结构力学研究生毕业，1986~1988年赴挪威皇家科学技术委员会做博士后，从事围岩应力分析的研究。先后发表论文150多篇，编著专业书4本，参加并组织编写巨著《中国土木工程指南》，任编辑办公室主任，并为该书撰写绪论；主持编写由清华大学土木工程系组编的“土木工程新技术丛书”和“简明土木工程系列专辑”，并任主编。曾任清华大学土木系副系主任，现为中国力学学会理事，《工程力学》学报主编，享受国务院特殊津贴。

前言

我国地域辽阔，地质条件复杂，由于各地域处于不同的地理环境、气候条件、地质成因、历史过程等，全国各地分布着各种各样的土质，具有相当的区域性特点。其中代表性的土有：软土、湿陷性黄土、膨胀土、红黏土、冻土、盐渍土、冲填土、杂填土、岩溶等。作为建筑物地基来讲，这些土质往往表现为软弱土与不良土。在当前国民经济与建筑业迅猛发展的今天，工程技术人员已从单个区域的地基问题转向面临全国范围内的区域性土的岩土工程问题。所以，工程技术人员了解并掌握一些区域性特殊土的性状与相应的地基处理技术是很有必要的。

此外，作者从自身在山西、湖北、浙江等地的求学、工程实践，以及所承担的国家自然科学基金的教学科研任务的经历来看，了解并掌握一些区域性特殊土的综合性知识以服务于工程建设及提高自身工作能力也是很有必要的。

基于以上观点，本书针对区域性特殊土的特点，分析并阐述了六大区域性特殊土（软土、湿陷性黄土、膨胀土、红黏土、冻土、盐渍土）的分布、工程特征，并据此提出相应的地基处理技术。书中结合现行规范和工程实例，并力求反映一些地基处理领域里的前沿动态，同时，也是对平常涉及此方面内容较少的有关教学参考书的补充。

作者感谢国家自然科学基金委和山西省自然科学基金委对承担长短桩复合地基理论研究工作的资助，感谢煤炭工业太原设计研究院王步云勘察大师的鼓励与帮助，感谢太原理工大学史美筠教授、裘以惠教授以及浙江大学龚晓南教授的鼓励与教诲，感谢中国水利水电出版社阳森副总编辑为本书的出版所付出的努力。

书中引用了许多科研单位、高等院校、工程单位等的研究成果与工程实例。在成书过程中，研究生李斌、翟晓力、鹿宏伟等帮助校稿与制图，在此一并感谢。

由于作者水平有限，书中难免有不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2010 年 11 月

目 录

总序

前言

第 1 章 绪论..... 1

第 1 节 概述/ 1

第 2 节 区域性特殊土的分布范围及其工程特性/ 2

第 3 节 区域性特殊土地基处理方案的选择与设计原则/ 6

第 4 节 区域性特殊土采用的地基处理方法及适用范围/ 7

第 2 章 软土地基 13

第 1 节 概述/ 13

第 2 节 软土地基的工程性质/ 13

第 3 节 软土地基的处理技术/ 26

第 4 节 工程实例/ 58

第 3 章 湿陷性黄土地基 75

第 1 节 概述/ 75

第 2 节 湿陷性黄土地基的工程性质/ 75

第 3 节 湿陷性黄土的地基处理技术/ 92

第 4 节 工程实例/ 109

第 4 章 膨胀土地基..... 121

第 1 节 概述/ 121

第 2 节 膨胀土地基的工程性质/ 121

第 3 节 膨胀土地基的处理技术/ 135

第 4 节 工程实例/ 140

第 5 章 红黏土地基..... 147

第 1 节 概述/ 147

第 2 节 红黏土地基的工程性质/ 147

第3节 红黏土的地基处理技术/	154
第4节 工程实例/	156
第6章 冻土地基	161
第1节 概述/	161
第2节 冻土地基的工程性质/	161
第3节 冻土的地基处理技术/	168
第4节 工程实例/	178
第7章 盐渍土地基	182
第1节 概述/	182
第2节 盐渍土地基的工程性质/	182
第3节 盐渍土的地基处理技术/	193
第4节 工程实例/	199
附录A 第2章附录	211
附录B 第3章附录	226
附录C 第4章附录	230
附录D 第6章附录	233
参考文献	238
出版者的话	

第1章 绪论

第1节 概 述

我国地域辽阔，地质条件复杂，全国从东到西，从南到北，由山区到平原，由沿海到内陆，分布着各种各样的地基土。这些土类，由于处于不同的地理环境、气候条件、地质成因、历史过程等，其物质成分、抗剪强度与稳定性、压缩性、透水性等具有与一般土类明显不同的特殊性质。例如，在东南沿海及内陆地区分布有含水量较高的软土、在西北广大地区则有孔隙比较大的湿陷性黄土，在广西一带南方地区有膨胀土，在北方寒冷地区有冻土，此外还有红黏土、盐渍土等。工程中，人们常把这些具有特殊的工程性质，同时在地理分布上表现出一定区域性的土质称之为区域性特殊土。

随着我国国民经济的迅速发展，土木工程建设遍布全国各地，不仅要尽可能地选择在地质条件良好的场地上建设，而且有时也不得不在地质条件不良的地基上进行修建。此外，随着科学技术的进步，伴随着大型、重型及特殊要求的建筑物的增多，结构物的荷载日益增大，对地基变形的要求越来越严，因而原来一般可评价为良好的地基，可能在某些特殊条件下也必须进行地基处理。所有这一切都要求工程技术人员在工程实践中，逐步认识并掌握区域性特殊土的性状及地基处理技术，这对于选定合适的基础形式，采用恰当的地基处理方法，加快基本建设，以及节约基本建设投资等，都具有重大意义。

第 2 节 区域性特殊土的分布范围及其工程特性

本书主要就软土地基、湿陷性黄土地基、膨胀土地基、红黏土地基、冻土地基、盐渍土地基等的特性进行阐述。

2.1 软土

所谓软土是指天然含水量大于液限，天然孔隙比大于 1.0 的饱和黏性土。它包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。其分类标准如表 1.1 所示。

表 1.1 软土的分类标准

土的名称	划分标准	备注
淤泥	$e \geq 1.5, I_L > 1$	e —天然孔隙比; I_L —液性指数; W_u —有机质含量
淤泥质土	$1.5 > e \geq 1.0, I_L > 1$	
泥炭	$W_u > 60\%$	
泥炭质土	$10\% \leq W_u \leq 60\%$	

软土一般来讲是第四纪后期形成的黏性土沉积物或河流冲积物，有的属于新近淤积物。它广泛分布在我国沿海及内地河流两岸和湖泊地区。例如，滨海沉积软土的代表地域有天津塘沽、连云港、上海、舟山、杭州、温州、福州、泉州、广州等。湖泊沉积软土的代表区域有洞庭湖、洪泽湖、太湖、古云梦泽地区等。河滩沉积软土的代表区域有长江中下游、珠江下游、淮河平原、松辽平原等。沼泽沉积软土的代表区域有昆明滇池周边、贵州水域、盘县等。

软土接近湖泊、海洋边的分布决定了其具有以下性质：

(1) 软土主要由黏土粒及粉粒组成，天然含水量高，一般为 35%~80%，天然孔隙比大，一般为 1.0~2.0。

(2) 软土具有高压缩性, 一般 $a_{1-2} = 0.5 \sim 1.5 \text{ MPa}^{-1}$, 最大可达 4.5 MPa^{-1} , 故软土地基上的建筑物沉降量较大。

(3) 软土的抗剪强度低, 不排水抗剪强度约在 $5 \sim 25 \text{ kPa}$ 之间。

(4) 软土具低渗透性, 一般约为 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ 。对地基排水固结不利, 其上建筑物沉降稳定历时比较长, 一般可达数年以上。

(5) 软土的灵敏度高, 灵敏度一般在 $3 \sim 4$ 之间, 最大可达 $8 \sim 9$ 。当原状土受到振动或扰动后, 土体结构破坏, 强度会大幅度降低。

(6) 软土具有流变性, 在长期荷载作用下, 除产生排水固结引起的变形外, 还会发生缓慢而长期的剪切变形。

(7) 软土往往具有不均匀性, 有的具有微层理构造, 有的中间夹有厚度不等的泥炭或泥炭质土薄层或透镜体。作为建筑物的地基易产生不均匀沉降。

2.2 湿陷性黄土

湿陷性黄土是指黄土在上覆土的自重应力作用下, 或在上覆土的自重应力与附加应力共同作用下, 受水浸湿后土的结构迅速破坏而发生显著附加下沉。否则称为非湿陷性黄土。

我国的黄土主要分布在北纬 $33^\circ \sim 47^\circ$ 之间。在此区域内, 一般气候干燥, 降雨量少, 蒸发量大, 属于干旱、半干旱气候类型。年平均降雨量在 $250 \sim 600 \text{ mm}$ 之间。湿陷性黄土主要分布在山西、陕西、甘肃的大部分地区, 河南西部及宁夏、青海、河北省(自治区)的部分地区, 此外新疆、内蒙古、山东、辽宁、黑龙江等省(自治区)有局部分布。

《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025—2004) 把我国湿陷性黄土分为七个分区; ①陇西地区; ②陇东-陕北-晋西地区; ③关中地区; ④山西-冀北地区; ⑤河南地区; ⑥冀鲁地区; ⑦边缘地区。

我国的湿陷性黄土一般具有如下特点：

(1) 湿陷性，即在一定压力作用下受水浸湿后发生显著的附加下沉。

(2) 颜色为黄色或黄褐色。

(3) 天然孔隙比一般为 1.0 左右。

(4) 含有大量的碳酸盐、硫酸盐、氯化物等可溶盐类。

(5) 颗粒组成以粉粒为主，含量占土重的 60% 以上。

(6) 天然剖面往往具有垂直节理。

(7) 一般具有肉眼可见的大孔隙。

我国的湿陷性黄土在地域分布上具有如下规律：

由西北向东南，黄土的密度、含水量、强度却是由小变大，而渗透性、压缩性、湿陷性却是由大变小，颗粒组成则由粗变细，黏粒含量由少变多，易溶盐由多变少。

2.3 膨胀土

膨胀土是指黏粒成分主要由亲水性矿物组成的非饱和、结构不稳定的高塑性黏性土。它是一种吸水膨胀和失水收缩，具有较大胀缩变形性能、且变形往复的黏性土。

膨胀土在我国分布范围较广，主要有广西、云南、湖北、河南、安徽、四川、陕西、河北、江西、江苏、山东、山西、贵州、广东、新疆、海南等 29 个省（自治区）。

据我国现有资料，膨胀土具有如下工程特点：

(1) 膨胀土多出露于二级及二级以上的河谷阶地、山前丘陵和盆地边缘。地形坡度平缓，无明显天然陡坎。

(2) 裂缝发育，方向不规则。常有光滑面和擦痕，有的裂隙中充填着灰白、灰绿色黏土。

(3) 建筑物裂缝随气候变化而张开与闭合。

(4) 黏粒含量高，超过 20%。

(5) 天然含水量接近塑限，饱和度一般大于 25%。

(6) I_p 一般大于 17，多数在 22~25 之间。

(7) 土的压缩性小，多属低压缩性土。

(8) 液性指数小, 在天然状态呈硬塑或坚硬状态。

2.4 红黏土

红黏土是指石灰岩、白云岩、泥灰岩等碳酸盐类岩石, 在炎热湿润气候条件下经过长期的红土化作用而形成的高塑性黏土物质。其液限一般大于 50。一般呈褐红、棕红、紫红和黄褐色。红黏土经搬运后仍保留其基本特征, 其液限大于 45 的土为次生红黏土。

我国的红黏土主要分布于长江以南地区, 广西、贵州、云南、四川东部、湖南西部等省区最为典型与广泛。北方地区, 红黏土也有零星分布, 如陕西南部、山东南部、湖北西部等。

红黏土的工程特性如下:

- (1) 黏土颗粒含量的高分散性。
- (2) 三相比例指标高 (w 、 S_r 、 e 、塑性界限), 但力学强度高, 低压缩性。
- (3) 胀缩性表现为以收缩为主, 这应与膨胀土进行区别。
- (4) 在天然状态下, 表现为上硬下软的现象。

2.5 冻土

冻土是指温度在 0°C 或 0°C 以下, 并含有冰的土壤。从冻结时间来划分, 当土层温度连续三年或三年以上在 0°C 以下的, 称为多年冻土; 而冬季冻结、夏季融化的土层则称为季节性冻土。

在我国, 多年冻土主要分布于大、小兴安岭, 青藏高原, 甘肃等地, 以及新疆的西部高山区, 约占全国国土面积的 22%; 而长江流域以北、华北地区等, 则多以季节性冻土为主。

冻土地基的工程特征主要体现在冻胀引起的破坏、融沉影响地基稳定性等方面。

2.6 盐渍土

盐渍土是指岩土中易溶盐含量大于 0.3%, 并且具有溶陷、盐胀、腐蚀等工程特性的岩土。

我国的盐渍土主要分布在西北干旱地区的新疆、青海、甘肃、宁夏、内蒙古等地势低平的盆地和平原中。在华北地区、松辽平

原以及大同盆地、青藏高原的一些湖盆洼地也有分布。此外，滨海地区的渤海湾、莱州湾、杭州湾及台湾的诸岛沿岸也有相当面积的盐渍土。

盐渍土的工程特性主要体现在其溶陷性（即其中的可溶盐在水浸泡后溶解、流失，使土体结构松散而出现溶陷）、膨胀性（即在水的作用下，土体具有吸水结晶膨胀性导致地质体变形）、腐蚀性（据不同盐类含量、成分，对各种建筑材料均有不同程度的腐蚀性）等方面。

第3节 区域性特殊土地基处理方案的选择与设计原则

区域性特殊土作为建筑物地基问题，可概括为以下几个方面。

（1）地基承载力或稳定性问题。此类问题是指地基在上部建筑物荷载作用下地基承载力能否满足要求、能否保持稳定。如果天然地基的承载力不能满足要求时，则需要进行地基处理，形成人工地基。

（2）沉降、水平位移及不均匀沉降问题。此类问题是指建筑物在各种组合荷载作用下，地基沉降，或水平位移，或不均匀沉降均不应超过相应的允许值，否则即会影响上部建筑物的正常使用乃至破坏。

（3）渗透问题。此类问题主要由于地下水的运动而产生。主要与土的透水性有关。当天然地基不能满足要求时，则需采取人工措施对地基土进行改良，使地基土变成不透水或减轻其水压力。

（4）特殊土不良地基的改良问题。此类问题主要针对特殊性土自身不同特点而进行的。例如，消除或减少黄土的湿陷性、膨胀土的胀缩性、冻土的冻胀与融陷性、盐渍土的胀缩与腐蚀性等。

针对上述地基问题，区域性特殊土地基处理方案的选择，应遵循“技术先进、经济合理、安全适用、确保质量”的总原则。具体考虑的因素包括以下几点。