

普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

地 基 处 理

(第2版)

D

J

C

L

主 编	陈昌富
副主编	葛忻声
	吴曙光
	周德泉



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员

地基处理

(第 2 版)

主 编 陈昌富
副主编 葛忻声
吴曙光
周德泉

武汉理工大学出版社
· 武汉 ·

内 容 提 要

本书根据高等学校土木工程学科专业指导委员会组织制定的教学大纲编写,比较系统地介绍了各种地基处理方法的特点与适用范围、加固机理、设计计算、施工工艺及质量检验,并给出了相应的工程实例。本书内容包括绪论、换土垫层法、强夯法、排水固结法、复合地基理论概要、碎(砂)石桩法、土桩和灰土桩挤密法、石灰桩法、水泥粉煤灰碎石桩法、灌浆法、高压喷射注浆法、水泥土搅拌法、加筋法、既有建(构)筑物纠偏及地基基础托换与加固、特殊性岩土地基处理。

本书可作为高等学校土木工程及相关专业的教材,也可供从事地基处理的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

地基处理/陈昌富主编. —2版. —武汉:武汉理工大学出版社,2016.4

ISBN 978-7-5629-5121-6

I. ①地… II. ①陈… III. ①地基处理-高等学校-教材 IV. ①TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 050275 号

项目负责人:高 英

责任校对:张明华

出版发行:武汉理工大学出版社

地 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:14.25

字 数:461 千字

版 次:2016 年 4 月第 2 版

印 次:2016 年 4 月第 1 次印刷

印 数:5001—8000 册

定 价:28.00 元

责任编辑:高 英

封面设计:橙子工作室

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线:027-87523148 87785758 87165708(传真)

· 版权所有,盗版必究 ·

第 2 版前言

自本书第 1 版于 2010 年初发行以来,我国地基处理技术无论是理论研究还是工程实践都取得了长足的进展。在此期间,我国发布了新的国家标准《复合地基技术规范》(GB/T 50783—2012),同时我国对原有的 GB 50007《建筑地基基础设计规范》、JGJ 79《建筑地基处理技术规范》等相关的国家标准和行业标准也进行了修订。因此,为及时反映本领域技术的最新发展,并体现相关行业的最新要求,有必要对《地基处理》教材进行全面的修编。

按照高等学校土木工程学科专业指导委员会编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》对核心知识单元“地基处理技术”的要求,同时考虑到从业岩土工程师的需要,本书此次修编仍沿用第 1 版的架构,内容包括绪论、换土垫层法、强夯法、排水固结法、复合地基理论概要、碎(砂)石桩法、土桩和灰土桩挤密法、石灰桩法、水泥粉煤灰碎石桩法、灌浆法、高压喷射注浆法、水泥土搅拌法、加筋法、既有建(构)筑物纠偏及地基基础托换与加固、特殊性岩土地基处理。

本书仍分为 15 章,第 1、4、6、10 章由湖南大学陈昌富编写,第 2、13、14 章由重庆大学吴曙光编写,第 3、7、15 章由太原理工大学葛忻声编写,第 5、11、12 章由长沙理工大学周德泉编写,第 8、9 章由大连大学刘晓洲编写。全书由陈昌富担任主编,葛忻声、吴曙光、周德泉担任副主编。

由于编者水平有限,本书难免存在疏漏、差错之处,敬请同行专家及读者不吝赐教,以便我们进一步修改、完善。

编 者

2015. 10

目 录

1 绪论	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 基本概念	(1)
1.1.2 地基处理的目的和意义	(2)
1.2 常见软弱土和特殊性岩土的工程特性	(2)
1.2.1 软弱地基和特殊性岩土地基	(2)
1.2.2 软弱土和特殊性岩土工程特性	(2)
1.3 常见地基处理方法的分类、适用条件和特点	(4)
1.4 地基处理技术发展概况	(5)
思考题与习题	(6)
2 换土垫层法	(7)
2.1 概述	(7)
2.1.1 换土垫层法的原理	(7)
2.1.2 垫层的分类和适用范围	(7)
2.2 垫层的作用	(8)
2.3 土的压实原理	(9)
2.4 垫层的设计与计算	(10)
2.4.1 垫层材料的选用	(10)
2.4.2 砂垫层设计要点	(12)
2.5 施工与质量检验	(14)
2.5.1 砂(砂石、碎石)垫层施工与质量检验	(14)
2.5.2 灰土、素土垫层施工与质量检验	(15)
2.5.3 粉煤灰垫层的施工与质量检验	(16)
2.5.4 矿渣垫层施工与质量检验	(17)
2.6 工程实例	(17)
2.6.1 工程概况	(17)
2.6.2 工程地质条件	(17)
2.6.3 垫层设计	(18)
2.6.4 垫层施工	(19)
2.6.5 质量检验	(19)
思考题与习题	(19)
3 强夯法	(20)
3.1 概述	(20)
3.2 加固原理	(20)
3.2.1 一般原理	(20)
3.2.2 不同情况下的加固机理	(21)
3.3 设计计算	(22)
3.3.1 有效加固深度	(22)
3.3.2 夯击能	(23)

3.3.3	夯点的布置与加固范围	(24)
3.3.4	夯击击数、遍数与时间间隔	(24)
3.3.5	强夯前垫层铺设	(25)
3.4	施工方法	(25)
3.4.1	施工机具	(25)
3.4.2	施工的步骤及要求	(26)
3.5	质量检验	(27)
3.6	工程实例	(28)
3.6.1	工程概况	(28)
3.6.2	设计计算	(28)
3.6.3	现场试夯结果	(29)
	思考题与习题	(29)
4	排水固结法	(30)
4.1	概述	(30)
4.2	加固机理	(31)
4.2.1	堆载预压法加固机理	(31)
4.2.2	真空预压法加固机理	(32)
4.2.3	堆载预压法与真空预压法对比	(32)
4.3	计算理论	(33)
4.3.1	瞬时加荷条件下固结度计算	(33)
4.3.2	逐级加荷条件下地基固结度计算	(35)
4.3.3	地基土抗剪强度增长的预估	(37)
4.3.4	地基承载力计算	(38)
4.3.5	地基沉降计算	(38)
4.4	设计方法	(38)
4.4.1	堆载预压法设计	(38)
4.4.2	真空预压法设计	(40)
4.5	施工方法	(41)
4.5.1	水平排水砂垫层的施工	(41)
4.5.2	竖向排水井的施工	(41)
4.5.3	预压荷载的施工	(43)
4.5.4	预压试验	(44)
4.6	质量检验	(44)
4.6.1	施工过程质量检验和监测	(44)
4.6.2	竣工验收检验	(44)
4.7	工程实例	(44)
4.7.1	工程概要	(44)
4.7.2	地基处理方案选择	(45)
4.7.3	确定砂井直径、间距、深度和范围	(45)
4.7.4	制定加载(充水)预压计划	(45)
4.7.5	工程效果	(47)
	思考题与习题	(47)
5	复合地基理论概要	(49)
5.1	概述	(49)

5.1.1	复合地基的定义	(49)
5.1.2	复合地基的分类	(49)
5.1.3	复合地基的常用术语	(50)
5.1.4	复合地基的工程应用	(52)
5.2	复合地基受力特性与破坏模式	(52)
5.2.1	桩体复合地基受力特性	(52)
5.2.2	复合地基破坏模式	(53)
5.3	复合地基承载力确定	(54)
5.3.1	复合地基载荷试验	(54)
5.3.2	桩体复合地基承载力计算	(54)
5.3.3	桩体极限承载力计算	(57)
5.3.4	桩间土极限承载力计算	(57)
5.3.5	水平向增强体复合地基承载力计算	(58)
5.3.6	加固区下卧层承载力验算	(58)
5.4	复合地基沉降确定	(58)
5.4.1	复合地基加固区压缩量计算方法	(59)
5.4.2	复合地基下卧层压缩量计算方法	(59)
	思考题和习题	(60)
6	碎(砂)石桩法	(61)
6.1	概述	(61)
6.2	加固机理	(62)
6.2.1	对松散砂土和粉土地基的加固机理	(62)
6.2.2	对黏性土地基的加固机理	(62)
6.3	设计计算	(63)
6.3.1	一般设计	(63)
6.3.2	处理松散砂土和粉土地基设计计算	(64)
6.3.3	处理黏性土地基设计计算	(66)
6.4	施工方法	(68)
6.4.1	振冲法施工	(68)
6.4.2	沉管法施工	(69)
6.5	质量检验	(71)
6.6	工程实例	(72)
6.6.1	工程概况	(72)
6.6.2	加固方案及加固设计	(72)
6.6.3	碎石桩施工工艺的确定	(72)
6.6.4	加固效果分析	(73)
6.6.5	结论	(73)
	思考题与习题	(73)
7	土桩、灰土桩挤密法	(74)
7.1	概述	(74)
7.2	加固机理	(74)
7.2.1	成桩过程中的侧向挤密作用	(74)
7.2.2	土桩挤密地基的作用	(75)
7.2.3	灰土桩加固地基的作用	(76)

7.3 设计计算	(77)
7.3.1 设计依据和基本要求	(77)
7.3.2 桩孔直径确定	(78)
7.3.3 桩距和排距设计计算	(78)
7.3.4 处理范围的确定	(78)
7.3.5 承载力的确定	(79)
7.3.6 变形计算	(79)
7.4 施工方法	(79)
7.4.1 施工准备	(79)
7.4.2 成孔	(79)
7.4.3 桩孔填夯	(81)
7.5 质量检验	(81)
7.5.1 桩点位置及桩孔质量检验	(81)
7.5.2 桩身填夯质量检验	(81)
7.5.3 桩间土挤密质量检验	(82)
7.5.4 消除湿陷性效果检验	(82)
7.5.5 承载力检验	(82)
7.6 工程实例	(82)
7.6.1 工程概况	(82)
7.6.2 灰土挤密桩设计计算	(83)
思考题与习题	(84)
8 石灰桩法	(85)
8.1 概述	(85)
8.1.1 发展概况	(85)
8.1.2 石灰桩的分类	(86)
8.1.3 石灰桩的适用范围	(86)
8.2 加固原理	(86)
8.2.1 桩体材料及配合比	(86)
8.2.2 加固机理	(87)
8.3 设计计算	(88)
8.3.1 设计参数及技术要点	(88)
8.3.2 石灰桩复合地基的承载特性	(89)
8.3.3 计算模型	(90)
8.3.4 石灰桩复合地基承载力计算	(90)
8.3.5 石灰桩复合地基沉降计算	(91)
8.4 施工方法	(92)
8.4.1 成桩工艺	(92)
8.4.2 施工顺序	(94)
8.4.3 施工质量控制	(94)
8.5 质量检验	(94)
8.6 工程实例	(95)
8.6.1 工程概况	(95)
8.6.2 地基条件	(95)
8.6.3 石灰桩设计	(95)

8.6.4 石灰桩施工	(96)
8.6.5 加固效果	(96)
思考题与习题	(96)
9 水泥粉煤灰碎石桩法	(97)
9.1 概述	(97)
9.1.1 发展概况	(97)
9.1.2 CFG 桩的适用性	(98)
9.2 加固机理	(99)
9.2.1 材料组成	(99)
9.2.2 作用原理	(99)
9.3 设计计算	(100)
9.3.1 设计思路	(100)
9.3.2 设计参数及技术要点	(101)
9.4 施工方法	(106)
9.4.1 施工设备	(106)
9.4.2 成桩工艺	(106)
9.4.3 施工程序	(109)
9.4.4 施工中有关注意事项	(111)
9.5 质量检验	(112)
9.5.1 桩间土的检验	(112)
9.5.2 CFG 桩的检验	(112)
9.5.3 复合地基检验	(112)
9.5.4 施工验收	(112)
9.6 工程实例	(113)
9.6.1 工程概况	(113)
9.6.2 CFG 桩复合地基设计	(113)
9.6.3 检测	(114)
9.6.4 沉降量观测结果	(115)
思考题与习题	(115)
10 灌浆法	(116)
10.1 概述	(116)
10.2 灌浆材料	(117)
10.2.1 浆材的构成	(117)
10.2.2 浆材的分类	(117)
10.2.3 浆材的性质	(117)
10.2.4 工程常用浆材	(119)
10.3 灌浆理论	(120)
10.3.1 渗透灌浆	(120)
10.3.2 劈裂灌浆	(122)
10.3.3 压密灌浆	(122)
10.3.4 电动化学灌浆	(123)
10.4 设计计算	(123)
10.4.1 灌浆方案的选择	(123)
10.4.2 灌浆标准	(123)

10.4.3	浆材及配方设计原则	(124)
10.4.4	浆液有效扩散半径	(124)
10.4.5	孔位布置	(124)
10.4.6	灌浆压力	(125)
10.4.7	灌浆量	(125)
10.5	施工方法	(125)
10.5.1	灌浆施工设备	(125)
10.5.2	岩石地层灌浆	(126)
10.5.3	土层灌浆	(126)
10.5.4	灌浆次序	(127)
10.5.5	灌浆施工的注意事项	(128)
10.6	灌浆质量与效果检验	(128)
10.7	工程实例	(129)
10.7.1	工程概况	(129)
10.7.2	注浆参数设计	(129)
10.7.3	水泥-水玻璃双液浆现场配比试验	(129)
10.7.4	注浆工艺	(129)
10.7.5	注浆效果	(130)
	思考题与习题	(130)
11	高压喷射注浆法	(131)
11.1	概述	(131)
11.2	加固机理	(132)
11.2.1	高压喷射流性质与分类	(132)
11.2.2	高压喷射流的构造	(132)
11.2.3	加固地基的机理	(134)
11.2.4	加固土的基本性状	(135)
11.3	设计计算	(136)
11.3.1	设计前的准备工作	(136)
11.3.2	固结体尺寸的确定	(136)
11.3.3	固结体强度的设计	(136)
11.3.4	浆量计算	(136)
11.3.5	浆液材料的选择	(137)
11.3.6	作为复合地基的计算	(138)
11.3.7	作为防渗体的计算	(139)
11.4	施工方法	(139)
11.5	质量检验	(140)
11.6	工程实例	(141)
11.6.1	工程概况	(141)
11.6.2	地质条件	(141)
11.6.3	设计方案	(141)
11.6.4	施工方法与旋喷参数	(141)
11.6.5	检测结果	(141)
	思考题与习题	(142)
12	水泥土搅拌法	(143)

12.1	概述	(143)
12.2	加固机理	(144)
12.2.1	水泥的水解和水化反应	(144)
12.2.2	黏土颗粒与水泥水化物的作用	(145)
12.2.3	碳酸化作用	(145)
12.3	水泥土的基本性质	(145)
12.3.1	水泥土的物理性质	(145)
12.3.2	水泥土的力学性质	(146)
12.3.3	水泥土的抗冻性能	(148)
12.4	设计计算	(149)
12.4.1	方案拟订	(149)
12.4.2	水泥土搅拌桩的计算	(149)
12.5	施工方法	(151)
12.5.1	水泥浆搅拌法	(151)
12.5.2	粉体喷射搅拌法	(152)
12.6	质量检验	(153)
12.7	工程实例	(155)
12.7.1	地质资料	(155)
12.7.2	设计方案	(155)
12.7.3	质量检测与效果验证	(156)
	思考题与习题	(156)
13	加筋法	(157)
13.1	概述	(157)
13.2	土工合成材料及其特性	(158)
13.2.1	土工合成材料的分类	(158)
13.2.2	土工合成材料的主要功能	(159)
13.2.3	土工合成材料的特性	(160)
13.2.4	土工合成材料的常用术语	(160)
13.3	加筋土垫层	(161)
13.3.1	加固机理	(162)
13.3.2	加筋土垫层设计	(162)
13.3.3	加筋土垫层施工	(162)
13.4	加筋土挡墙	(163)
13.4.1	概述	(163)
13.4.2	加筋土挡墙破坏机理	(163)
13.4.3	加筋土挡墙设计计算	(164)
13.4.4	加筋土挡墙施工	(167)
13.5	锚杆与土钉支护	(168)
13.5.1	锚杆加固	(168)
13.5.2	土钉支护	(171)
13.5.3	复合土钉支护	(174)
13.6	工程实例	(175)
13.6.1	工程概况	(175)
13.6.2	加筋地基补强处理方案	(176)

13.6.3 加筋补强效果检验及分析	(176)
思考题与习题	(176)
14 既有建(构)筑物纠偏及地基基础托换与加固	(177)
14.1 概述	(177)
14.1.1 建筑物倾斜的原因	(177)
14.1.2 既有建(构)筑物的纠偏加固条件	(177)
14.1.3 建筑物的纠偏工作程序	(178)
14.1.4 既有建(构)筑物纠偏技术	(178)
14.1.5 既有建(构)筑物地基加固技术	(179)
14.2 既有建(构)筑物纠偏	(180)
14.2.1 人工降水纠偏法	(180)
14.2.2 堆载纠偏法	(180)
14.2.3 地基部分加固纠偏法	(181)
14.2.4 浸水纠偏法	(181)
14.2.5 钻孔取土纠偏法	(182)
14.2.6 水冲掏土纠偏法	(183)
14.2.7 人工掏土纠偏法	(183)
14.2.8 既有建筑顶升纠偏技术	(184)
14.3 既有地基基础托换技术	(189)
14.3.1 基础加宽技术	(189)
14.3.2 墩式托换技术	(189)
14.3.3 桩式托换技术	(190)
14.4 既有地基基础加固技术	(194)
14.5 工程实例	(194)
14.5.1 工程概况	(194)
14.5.2 倾斜原因分析	(194)
14.5.3 迫降纠偏和地基加固	(195)
14.5.4 断柱顶升纠偏方案	(196)
思考题与习题	(197)
15 特殊性岩土地基处理	(198)
15.1 概述	(198)
15.2 湿陷性黄土地基处理	(198)
15.2.1 我国湿陷性黄土的工程地质分布、物理力学性质	(198)
15.2.2 湿陷性黄土的工程特性指标	(198)
15.2.3 湿陷性黄土地基的地基处理技术	(200)
15.3 膨胀土地基处理	(201)
15.3.1 膨胀土地基分布	(201)
15.3.2 膨胀土的物理力学特性	(201)
15.3.3 膨胀土的工程特性指标	(201)
15.3.4 膨胀土的地基处理技术	(202)
15.4 盐渍土地基处理	(203)
15.4.1 盐渍土地基分布	(203)
15.4.2 盐渍土的物理力学性质	(204)
15.4.3 盐渍土的工程性质	(206)

15.4.4 盐渍土地基的工程评价.....	(206)
15.4.5 盐渍土地基处理技术.....	(206)
15.5 岩溶地基处理.....	(207)
15.5.1 岩溶的分布.....	(207)
15.5.2 岩溶地基的稳定性评价.....	(208)
15.5.3 岩溶地基的处理.....	(209)
15.6 工程实例.....	(210)
15.6.1 工程概况.....	(210)
15.6.2 工程经验教训.....	(210)
15.6.3 地基处理方案的探讨.....	(211)
15.6.4 整个小区的具体实施方法.....	(211)
15.6.5 实施效果.....	(212)
思考题与习题.....	(212)
参考文献.....	(213)

1 绪 论

本章提要

本章主要介绍了场地、地基、基础、软弱土地基和特殊土地基的基本概念;阐述了地基常见问题,地基处理的目的和意义,以及确定地基处理方案的基本原则和流程;简要介绍了常见软弱土和特殊土的类型及其工程特性,常用地基处理方法的分类及其适用范围和特点,以及地基处理技术发展概况。

本章要求掌握场地、地基、基础、软弱土地基和特殊土地基等的基本概念;掌握地基常见问题和地基处理的目的;熟悉常见软弱土和特殊土的工程特性;了解常用地基处理方法分类和适用范围。

1.1 概 述

1.1.1 基本概念

1.1.1.1 场地(Site)

狭义地讲,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。然而,此有限面积土地的稳定性的常常会受到较大范围内的地质环境的影响,因此,从广义上说,场地应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,比如古滑坡区域、古断层区域、地震构造带等。

1.1.1.2 地基(Subgrade, Foundation Soils)

地基是指承托建筑物基础的那一部分场地。假如地基中的天然土层可直接放置基础,则称为天然地基。若天然土层过于软弱或有不良工程地质问题,需加固或处理后才能建造基础,这种经过处置的地基称为人工地基。工程上,建(构)筑物地基面临的主要问题包括:

① 稳定性问题。有时也称为承载力问题,它是指地基土体的抗剪强度能否足够抵抗建(构)筑物荷载在地基中产生的剪切应力,是否会发生局部或整体剪切等破坏。这种局部或整体剪切破坏将直接影响建(构)筑物的安全与正常使用,甚至使其产生破坏。地基的稳定性或承载能力不仅取决于地基土层的条件及抗剪强度,而且与基础的形式、大小和埋深密切相关。

② 变形问题。它是指在由建(构)筑物等产生的各种形式荷载作用下,地基土体的变形(沉降、不均匀沉降或水平位移)是否超过相应的允许值。过大的地基变形将影响建(构)筑物的使用功能,严重时将导致其开裂甚至破坏。地基变形量主要取决于荷载大小和地基土体的压缩性(或变形模量),同时也与基础的形式和尺寸大小等因素有关。

③ 渗透问题。主要体现在两个方面:一是蓄水构筑物地基因渗流而造成水量损失、蓄水位降低甚至蓄水失败;二是由于水力坡降超过其允许值,地基因潜蚀、流土或管涌而产生削弱或失稳,进而导致建(构)筑物开裂或破坏。地基渗透问题主要与地基中水力坡降大小和土体的渗透性质有关。

④ 液化。有时也称为动力稳定性问题,它是指饱和松散粉细砂和部分粉土在动力荷载作用下产生液化,使土体失去抗剪强度,呈现近似液体特性的现象,从而导致地基失稳或震陷。

1.1.1.3 基础(Foundation, Footing)

基础是将建(构)筑物产生的荷载传递至地基的下部结构,具有承上启下的作用。因此,作用于基础上的力既有来自上部结构的荷载,又有来自地基的反力,而作用于地基上的荷载则来自于基础的作用力(比如基底压力)。

1.1.1.4 地基处理(Ground Treatment)

地基处理是指对存在有强度、变形、稳定性和渗漏等问题的地基所作的改良(Improvement)和加固(Reinforcement)。天然地基通过改良和加固,形成人工地基,从而满足建(构)筑物对地基的各项要求。

1.1.2 地基处理的目的和意义

地基处理的目的是采用各种地基处理措施和方法实现对地基岩土体的改良和加固,其作用主要有:①提高地基的抗剪切强度和承载能力;②降低地基的压缩性;③改善地基的透水特性;④改善地基的动力特性并提高地基抗震性能;⑤改善特殊性岩土地基的不良工程特性。

天然地基的工程性质通常呈现不确定性、复杂性和区域性等特点,因此,对具有各种问题的地基进行妥善的加固和处理,不仅可以提高工程安全度、保证工程质量,而且可以加快工程建设速度、节省工程建设投资。

1.2 常见软弱土和特殊性岩土的工程特性

1.2.1 软弱地基和特殊性岩土地基

地基处理的对象是软弱地基和特殊性岩土地基。

软弱地基系指由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土等软弱土层构成的地基,其中淤泥及淤泥质土通常称为软黏土。

特殊性岩土是指具有特殊的物质成分和结构以及独特工程性质的岩土,比如饱和软黏土、湿陷性黄土、膨胀性岩土、红黏土、冻土、岩渍土、岩溶等,由特殊性岩土构成的地基称为特殊性岩土地基。由于特殊性岩土具有区域性分布特征,因此有时也称其为区域性岩土地基。

1.2.2 软弱土和特殊性岩土工程特性

1.2.2.1 软(黏)土

软(黏)土是第四纪后期形成的海相、泻湖相、三角洲相、溺谷相和湖泊相的黏性土沉积物、河流冲积物或新近淤积物。软(黏)土大部分处于饱和状态,其天然含水量大于液限,天然孔隙比大于1.0。当天然孔隙比大于1.5时,称为淤泥;大于1.0而小于1.5时,称为淤泥质土。软(黏)土的特点是天然含水量高,天然孔隙比大,压缩系数高,抗剪强度低,渗透系数小。在荷载作用下,软(黏)土地基承载力低,地基沉降变形大,不均匀沉降也大,而且沉降稳定历时比较长(一般需要几年,甚至几十年)。软(黏)土地基是在工程建设中常遇到的需要进行处理的软弱地基,它广泛分布在我国沿海以及内地河流两岸和湖泊地区。例如:天津、连云港、上海、杭州、宁波、台州、温州、福州、厦门、湛江、广州、深圳、珠海等沿海地区,以及昆明、武汉、南京、马鞍山等内陆地区。

1.2.2.2 人工填土

人工填土是指由于人类活动而堆填的土,按照物质组成和堆填方式可分为素填土、杂填土和冲填土。

①素填土,主要由黏性土、粉土、砂土或碎石土组成,不含或含有少量杂物。素填土按其堆积年限分为新素填土和老素填土两类。当堆积年限在10年以上或孔隙比小于或等于1.1的黏性素填土称为黏性老素填土;当堆积年限在5年以上或孔隙比小于或等于1.0的非黏性素填土称为非黏性老素填土。经分层碾压或夯实的填土称为压实填土,它有目的地使填土达到一定密实程度,应与一般素填土区分开来。

②杂填土,是主要由建筑垃圾、生活垃圾、工业废料等复杂成分构成的无规则堆积物,其性质差异大且无规律性。大多数情况下,杂填土比较疏松且不均匀,即使在同一场地的不同位置,地基承载力和压缩性也可能有较大的差异。

③冲填土,是用水力冲填法抽排水底泥沙等沉积物堆积而成。按冲填堆积年限可分为老冲填土(冲填时间在5年以上者)和新冲填土。冲填土的性质与冲填物成分和冲填时的水力条件有密切关系。若

冲填土中含黏土颗粒较多,则其通常是欠固结的,并且其工程性质比同类天然沉积土差;若以粉细砂为主,则其工程性质基本上与粉细砂相同。

总之,人工填土的形成复杂而极不规律,组成物质杂乱,分布范围很不一致,一般是任意堆填、未经充分压实,故土质松散,空洞、孔隙极多。因此,人工填土最基本的特点是不均匀、低密实度、高压缩性和低强度,有时具有湿陷性。

1.2.2.3 饱和砂土和粉土

主要指饱和的细砂土、粉砂土和砂质粉土。粒径大于 0.25 mm 的颗粒不超过全重的 50%,而且粒径大于 0.075 mm 的颗粒超过全重的 85%的土称为细砂土。粒径大于 0.075 mm 的颗粒不超过全重的 85%但超过 50%的土称为粉砂土。粒径小于 0.005 mm 的颗粒含量不超过全重的 10%,塑性指标 I_p 小于或等于 10 的土称为砂质粉土。处于饱和状态的细砂土、粉砂土和砂质粉土在静载作用下虽然具有较高的强度,但在机器振动、车辆荷载、波浪或地震作用下有可能产生液化或产生大量震陷变形,地基会因地基土体液化而丧失承载能力。因此,这类地基如果需要承担动力荷载,则需要进行加固处理。

1.2.2.4 湿陷性黄土

湿陷性黄土是指在覆盖土层的自重应力或自重应力与建筑物附加应力综合作用下,受水浸湿后,土的结构迅速破坏,并发生显著的附加沉降,其强度也迅速降低的黄土。当以黄土作为建筑物地基时,首先要判断它是否具有湿陷性,然后才考虑是否需要地基处理。其处理方法应根据建筑物的类别、湿陷性黄土的特性、施工条件和当地材料来源等因素综合确定。

1.2.2.5 膨胀土

膨胀土是指黏粒成分主要由亲水性黏土矿物组成的黏性土。膨胀土在环境的温度和湿度发生变化时会产生强烈的胀缩变形。膨胀土的液限、塑限、塑性指数都较大,天然含水量较小,所以常处于硬塑或坚硬状态,强度较高,黏聚力较大,内摩擦角普遍较高,压缩性一般中等偏低,故常被简单认为是很好的地基。但在水量增加或结构扰动时,其强度显著降低,压缩性明显增大。

1.2.2.6 红黏土

红黏土主要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,经风化和红土化作用而形成的一种含较多黏粒,富含铁、铝氧化物胶结的红色黏性土。通常红黏土是较好的地基,但由于其下卧岩面起伏较大且存在软弱土层,一般容易引起地基不均匀沉降。

1.2.2.7 盐渍土

土中含盐量超过一定数量的土称为盐渍土。盐渍土地基浸水后,土中盐溶解可能产生地基溶陷,某些盐渍土(如含硫酸钠的土)在环境温度和湿度变化时,可能产生土体体积膨胀。除此之外,盐渍土中的盐溶液还会导致建筑物材料和市政设施材料的腐蚀,造成建筑物或市政设施的破坏。

1.2.2.8 多年冻土

多年冻土是指温度连续 3 年或 3 年以上保持在 0℃ 或以下,并含有冰的土层。多年冻土的强度和变形有许多特殊性。例如,冻土中因冰和冰水的存在,在长期荷载作用下有强烈的流变性。多年冻土在人类活动影响下,可能产生融化。因此,多年冻土作为建筑物地基时需慎重考虑,应采取必要的处理措施。

1.2.2.9 岩溶、土洞和山区地基

岩溶也可称为“喀斯特”,它是石灰岩、白云岩、泥灰岩、大理石、盐岩、石膏等可溶性岩层受水的化学和机械作用而形成的溶洞、溶沟、裂隙,以及由于溶洞的顶板塌落使地表产生陷穴、洼地等现象和作用的总称。

土洞是岩溶地区上覆土层被地下水冲蚀或被地下水潜蚀所形成的洞穴。

岩溶和土洞对建(构)筑物的影响很大,可能造成地面变形、地基陷落,发生水的渗漏和涌水现象。在岩溶地区修建建筑物时要特别重视岩溶和土洞的影响。

山区地基地质条件比较复杂,主要表现在地基的不均匀性和场地的稳定性两个方面。山区基岩表面起伏大,且可能有大块孤石,这些因素常会导致建筑物基础产生不均匀沉降。另外,在山区常有可能遇到滑坡、崩塌和泥石流等不良地质现象,给建(构)筑物造成直接的或潜在的威胁。在山区修建建(构)筑物时要重视地基的稳定性和避免过大的不均匀沉降,必要时需进行地基处理。

1.3 常见地基处理方法的分类、适用条件和特点

地基处理方法分类多种多样,往往同一种处理方法具有多种效用,而且地基处理新方法不断出现,传统方法的功能也在不断扩大,这都使分类越来越困难。因此,地基处理方法分类不宜太细,类别不宜太多。本书根据加固原理对地基处理方法进行分类,大致分为六类,各类中的地基处理方法及其适用条件见表 1.1。

表 1.1 常见地基处理方法的分类、适用条件和特点

分类	处理方法	原理和作用	适用条件及特点
换土垫层法	机械碾压法	挖除浅层软弱土或不良土,回填性能良好的岩土材料,经分层碾压或夯实形成抗剪强度高、压缩性小的垫层。按回填的材料可分为砂(石)垫层、碎石垫层、粉煤灰垫层、矿渣垫层、土(灰土)垫层等。其作用是可提高持力层的承载力,减小沉降量;消除或部分消除土的湿陷性和胀缩性;防止土的冻胀作用;改善土的抗液化性能	① 常用于基坑面积大、开挖土方量大的回填土方工程; ② 适用于处理浅层软弱地基(厚度不大于 3 m)、湿陷性黄土地基(厚度不大于 5 m)、膨胀土地基、季节性冻土地基、素填土和杂填土地基; ③ 对地下水水位较高的重要工程,需降低地下水水位施工
	平板振动法		① 适用于处理非饱和和无黏性土地基或黏粒含量小和透水性好的杂填土地基; ② 仅限于浅层处理,一般不大于 3 m,对于湿陷性黄土地基不大于 5 m
深层密实或置换法	强夯法	利用强大的夯击能迫使深层土体液化和动力固结,使土体密实,用以提高地基承载力、减小沉降量,消除土的湿陷性、胀缩性和液化性。强夯置换是指对厚度小于 7 m 的软弱土层边夯边填碎石等粗颗粒材料,形成深度为 3~7 m、直径为 2 m 左右的碎石柱体,与周围土体形成复合地基	① 强夯法适用于碎石土、素填土、杂填土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土以及湿陷性黄土; ② 强夯置换法适用于高饱和度的粉土和软塑~流塑的黏性土等地基上对控制变形要求不严的工程,对淤泥、泥炭等黏性软弱土层,置换墩应穿透软弱土层; ③ 施工速度快、施工质量容易保证,经处理后土性较为均匀,造价经济,适用于处理大面积场地; ④ 因施工产生很大震动和噪声,不宜在闹市区施工
	挤密桩法(碎石桩、砂石桩挤密法,石灰桩、土桩、灰土桩挤密法)	利用挤密或振动使深层土体密实,并在振动或挤密过程中,回填碎石、砾石、砂、石灰、土、灰土等材料,形成碎石桩、砂桩、砂石桩、石灰桩、土桩、灰土桩等,与桩间土一起形成复合地基,从而提高地基承载力,减小沉降量,消除或部分消除土的湿陷性和液化性	① 砂(碎石)桩挤密法、振动水冲法、干振碎石桩法,一般适用于杂填土和松散砂土,对软土地基经试验证明加固有效时方可使用; ② 石灰桩适用于软弱黏性土和杂填土,土桩、灰土桩挤密法一般适用于地下水位以上深度为 5~15 m 的湿陷性黄土和人工填土
	水泥粉煤灰碎石桩法	由水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂加水拌和形成的高黏结强度桩,桩、桩间土和褥垫层一起构成复合地基,从而大幅度提高地基承载力,减少变形	① 适用于处理黏性土、粉土、砂土和已自重固结的素填土等地基; ② 对淤泥质土应通过现场试验确定其适用性
排水固结法	堆载预压法、真空预压法、降水预压法、电渗排水法	通过布置垂直排水井,改善地基的排水条件,并采取加压、抽气、抽水或电渗等措施,以加速地基土的固结和强度的增长,提高地基土的稳定性,并使沉降提前完成	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; ③ 对真空预压,预压力应达 80 kPa,不够时,可同时加土石方堆载,真空泵需长时间抽气,耗电量较大; ④ 降水预压法无须堆载,效果取决于降低水位的深度,需长时间抽水,耗电量较大
胶结法	注浆法	通过注入水泥浆液或化学浆液,使土层中的土粒胶结,用以提高地基承载力,减小沉降量、增加稳定性,防止渗漏	用于处理岩基、砂土、粉土、淤泥质黏土、粉质黏土、黏土和一般人工填土,也可用于加固暗浜和托换工程
	高压喷射注浆法	将带有特殊喷嘴的注浆管,通过钻孔置入要处理土层的预定深度,然后以高压水泥浆液冲切土体,在喷射浆液的同时,以一定的速度旋转、提升,即形成水泥土圆柱体;若喷嘴提升而不旋转,则形成墙状固结体。加固后可以提高地基承载力,减小沉降量,防止砂土液化、管涌和基坑隆起,建成防渗帷幕	① 适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、黄土、砂土、碎石土和素填土等地基; ② 当土中含有较多的大粒径块石、坚硬黏性土、大量植物根茎或有过多的有机质,以及地下水流速过大和已涌水的工程,应根据现场试验结果确定其适用程度; ③ 对已有建筑物可进行托换、加固; ④ 施工时水泥浆冒出地面流失量较大,对流失水泥浆应设法予以利用
	深层土搅拌法	深层土搅拌法施工时分湿法和干法两种。湿法是利用深层搅拌机,将水泥浆与地基土在原位拌和;干法是利用喷粉机,将水泥粉或石灰粉与地基土在原位拌和。搅拌后形成的柱状水泥土体,可以提高地基承载力,减小沉降量,增强稳定性和防渗堵漏	① 适用于处理正常固结的淤泥、淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土、黏性土以及无流动地下水的饱和松散砂土等地基; ② 当用于处理泥炭土或地下水具有侵蚀性时,宜通过试验确定其适用程度; ③ 不能用于含石块的杂填土