

# 地基处理手册

《地基处理手册》编写委员会

中国建筑工业出版社

# 地基处理手册

《地基处理手册》编写委员会

中国建筑工业出版社

本书系统全面总结了我国地基处理方面的经验、方法、有关理论原理、设计计算、施工工艺与测试技术，反映了我国地基处理的当前水平。同时兼蓄国外先进经验，书中附有大量工程实例。全书由我国30位专家、学者、工程师编写，是一部有份量的参考性工具书。

全书共分14章，内容包括：总论，浅层处理，排水固结法，砂桩、土桩和灰土桩，振冲法，强夯法，灌浆法，高压喷射注浆法，深层搅拌法，土工聚合物，锚固技术，托换技术，特殊土地基处理和现场测试方法等。本书各章章末均附有参考文献，书前有主要符号，书末编有索引1000余条，读者据此可很快找到书中有关内容。

本书可供从事地基设计和施工人员使用，亦可供工程勘察、建筑设计以及大专院校有关专业师生参考。

\* \* \*

《地基处理手册》编写委员会

主编 曾国熙 卢肇钧 蒋国澄 叶政青

编委 (以姓氏笔划为序)

石振华 卢肇钧 叶政青 叶书麟 朱庆林  
杨灿文 张作珺 范维垣 周国钧 顾宝和  
徐克静 盛崇文 龚晓南 彭大用 曾国熙  
蒋国澄 潘秋元

秘书 龚晓南

地 基 处 理 手 册

《地基处理手册》编写委员会

\*

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  
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

\*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：46 插页：1 字数：1112 千字

1988年8月第一版 1988年8月第一次印刷

印数：1—32,630册 定价：13.00元

ISBN7—112—00069—6/TU·37

统一书号：15040·5380(精)

# 本书各章编写人、审阅人名单

## 第1章 总论

编写执笔人 曾国熙 龚晓南

(卢肇钧、蒋国澄、叶政青参加讨论)

## 第2章 浅层处理

编写人 彭大用 叶书麟

审阅人 钱鸿缙 张永钧

## 第3章 排水固结法

编写人 潘秋元 杨国强

审阅人 曾国熙 高有潮 张承厚 唐 敏 陈宗岳

## 第4章 砂桩、土桩和灰土桩

编写人 徐克静 杨鸿贵

审阅人 周 镜 张泳梅 钱鸿缙 王继唐

## 第5章 振冲法

编写人 盛崇文 康景俊

审阅人 钱家欢 魏汝龙

## 第6章 强夯法

编写人 范维垣 张永钧 钱 征

审阅人 叶书麟 罗宇生

## 第7章 灌浆法

编写人 张作瑁

审阅人 刘嘉材 蒋国澄

## 第8章 高压喷射法

编写人 朱庆林 王吉望

审阅人 卢肇钧

## 第9章 深层搅拌法

编写人 周国钧 吕同庆 白日昇

审阅人 胡同安 潘传爵

## 第10章 土工聚合物

编写人 杨灿文 曾锡庭 陶同康

审阅人 王正宏 朱梅生

第11章 锚固技术

编写人 吴肖茗

审阅人 卢肇钧

第12章 托换技术

编写人 叶书麟 彭大用

审阅人 叶政青 汪益基

第13章 特殊土地基处理

编写人 彭大用 叶书麟

审阅人 钱鸿缙 张永钧

第14章 现场测试方法

编写人 顾宝和 窦 宜 费涵昌 陈茂棋

审阅人 王钟琦 方涤华 马立德

# 序

近年来，为了满足在土建、交通、水利等方面工程建设中提出的地基处理要求，我国引进、发展了各种地基处理技术，积累了相当丰富的经验，地基处理水平得到了很大提高。为了交流、总结、普及和提高各种地基处理技术，中国土木工程学会土力学及基础工程学会成立了地基处理学术委员会，其重要任务之一是组织全国各部门地基处理专家编写一本《地基处理手册》，总结国内外先进经验，以国内为主，供从事地基处理的设计、施工和测试人员、工程勘察、建筑设计人员以及大专院校有关专业师生应用参考。

《手册》编写工作是在地基处理学术委员会和《手册》编委会组织下进行的。在土力学及基础工程学会第二届理事会成立大会期间，《手册》编委会及各章编写人曾向全体理事作了汇报，听取了理事们的意见。在广泛征求意见的基础上，各章均几易其稿。在各部门地基处理同行的大力支持下，完成了《手册》编写工作。它反映了我国目前地基处理的先进水平，希望《地基处理手册》的出版能推动我国地基处理工作进一步发展，并希望对《手册》中的不足乃至错误之处能提出批评，以便再版时增补订正。

中国土木工程学会土力学及基础工程学会理事长

卢肇钧

# 编 者 的 话

为了祖国的富强和人民的幸福生活，我国基本建设规模愈来愈大。在土建、交通、水利等工程建设中经常遇到天然地基不能满足建造建筑物包括构筑物的要求，需要对地基进行人工处理以满足工程建设的需要。在建筑物的上部结构、基础和地基三者中，地基对建筑物的效应具有更重要的意义。据调查统计，世界各国各种土木、水利工程事故中，以地基问题处理不当引起的最多。而且，因地基问题造成的事故一旦发生，轻者影响使用，重者危及生命财产的安全，并且补救比较困难，补救工程费用很大。地基对建筑物的重要性愈来愈得到人们的重视。近年来，为了满足工程建设的需要，我国引进、发展了各种地基处理技术，积累了相当丰富的经验，地基处理水平得到很大提高。同时也还存在一些问题，对日益广泛得到应用的各种地基处理技术需要交流、总结、提高。中国土木工程学会土力学及基础工程学会根据全国各地工程建设的迫切要求和各方面的要求成立了地基处理学术委员会，该委员会的一项重要任务就是组织全国这方面的专家、教授编写一本《地基处理手册》。在编写过程中，注意《手册》应能反映我国地基处理的当前先进水平，兼蓄国内外先进经验，以国内为主。《手册》强调实用性和可靠性，注意介绍比较成熟的地基处理方法供从事地基处理的设计和施工人员选用。对有争论的问题，《手册》中将同时介绍各种不同的观点，供使用者参考。不少地基处理方法的计算理论尚未成熟，目前不少是经验公式，但根据学科发展的历史，各种处理方法都是首先着重研究其处理效果，然后再研究其计算理论和方法，例如复合地基的承载力和变形计算，不同的作者，不同的处理方法，可能采用不同的经验公式。《手册》中对各种方法兼容并蓄，并附有大量的工程实例，全书统一编有主要符号，书末编有索引，各章章末附有参考文献以供读者使用参考。

《地基处理手册》的读者对象是从事地基处理的设计和施工人员，希望本手册能对他们的工作有所帮助，亦可供工程勘察、建筑设计人员及大专院校有关专业师生参考，也可供非土工专业人员应用。《手册》内容选编以工业与民用建筑地基处理为主，兼顾水利、铁道、交通等方面工程的地基处理问题。

《手册》共分十四章，包括：总论、浅层处理，排水固结法，砂桩、土桩和灰土桩，振冲法，强夯法，灌浆法，高压喷射注浆法（以往称为旋喷桩），深层搅拌法，土工聚合物，锚固技术，托换技术，特殊土处理，现场测试方法等。对桩基、沉箱、地下连续墙等人工地基及岩石地基处理在本手册中均未作介绍，读者可参阅有关专著或文献。

《手册》由中国土木工程学会土力学及基础工程学会地基处理学术委员会、《地基处理手册》编委会负责组织编写工作。浙江大学曾国熙、铁道部科学研究院卢肇钧、水利水电科学研究院蒋国澄、上海市建工局叶政青担任主编。参加手册编写工作的有：浙江大学曾

国熙、潘秋元、龚晓南，铁道部科学研究院卢肇钧、杨灿文、吴肖茗、朱庆林，水利水电科学研究院蒋国澄、张作璠，上海市建工局叶政青，同济大学叶书麟、费涵昌，上海市基础公司彭大用，冶金部建筑研究总院王吉望、周国钧、徐克静，南京水利科学研究院盛崇文、窦宜、陶同康，太原工业大学范维垣，城乡建设环境保护部综合勘察研究院顾宝和、陈茂棋，交通部一航局钱征、杨国强、曾锡庭，中国建筑科学研究院张永钧，陕西省建筑科学研究所杨鸿贵，水电部北京勘测设计院康景俊，铁道部第四勘测设计院白日昇，天津市机械施工公司吕同庆等同志。

本手册得到全国各有关同志的支持，提供了大量资料，各章还邀请一些专家教授负责审阅。可以说编写《手册》动员了全国地基处理方面的许多专家。因此它是集体辛勤劳动的产物。编者借此向所有为本手册作出贡献的同志致以衷心感谢。

由于是各章分头编写，编者虽尽量力求统一并避免重复以及差错，但为了适应工程上的迫切需要，争取早日与读者见面，有些工作做得不够细致，必然存在不少问题。编者诚恳希望读者提出宝贵意见，以便再版时增补订正。来函请寄浙江杭州浙江大学土木工程系土工学教研室转《地基处理手册》编写委员会。

《地基处理手册》编写委员会

|                                                                   |                                                       |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| $E_0$ ——变形模量<br>——冲击能量                                            | $h_0$ ——天然土样的原始高度                                     |
| $E_{0.1-2}$ ——法向压力为100~200kPa时的<br>变形模量                           | $I$ ——基础底面抗弯惯性矩                                       |
| $E_{50}$ ——当水泥土的应力达到破坏值的<br>50%时的变形模量                             | $I_B$ ——基础对底面中心轴的质量惯性<br>矩                            |
| $e$ ——孔隙比                                                         | $I_L$ ——液性指数                                          |
| $e$ ——质量偏心距<br>——旋喷桩的交圈厚度                                         | $I_p$ ——塑性指数                                          |
| $e_p$ ——桩体的孔隙比                                                    | $I_h$ ——水头比降                                          |
| $F$ ——面积<br>——静力触探试验摩阻比                                           | $I_{\sigma_z}$ ——竖向应力影响系数                             |
| $F_s$ ——单位长度平均灌砂量<br>——假想实体基础的侧表面积                                | $I_{\sigma_1}$ ——最大主应力影响系数                            |
| $f$ ——容许摩擦力<br>——频率                                               | $I_{\sigma_3}$ ——最小主应力影响系数                            |
| $f'$ ——拉筋与土之间的摩擦系数                                                | $J$ ——水力比降                                            |
| $f_s$ ——静力触探试验侧壁摩阻力                                               | $K$ ——强度安全系数<br>——十字板板头常数<br>——地基刚度系数<br>——树根桩的托换安全系数 |
| $G$ ——剪切模量<br>——假想实体基础自重<br>——桩、土自重                               | $K_h$ ——抗滑稳定安全系数                                      |
| $g$ ——重力加速度                                                       | $K_p$ ——桩体侧压力系数                                       |
| $H$ ——土层厚度<br>——加固影响厚度<br>——排水距离<br>——高度<br>——夯锤落距<br>——压力水头      | $K_q$ ——抗倾覆稳定安全系数                                     |
| $H_0$ ——喷嘴出口的压力水头                                                 | $K_s$ ——桩间土的被动土压力系数                                   |
| $h$ ——落距<br>——灌浆段深度<br>——压力水头<br>——振密后地面隆起量或下沉量<br>——锚固段以上的地层覆盖厚度 | $K_x$ ——抗剪地基刚度                                        |
| $h_A$ ——主动土压力 $E_A$ 对墙趾的力臂                                        | $K_z$ ——抗压地基刚度                                        |
| $h_p$ ——被动土压力 $E_p$ 对墙趾的力臂                                        | $K_o$ ——抗弯地基刚度                                        |
|                                                                   | $K_o$ ——土的静止土压力系数                                     |
|                                                                   | $k$ ——渗透系数<br>——损耗系数<br>——弹簧常数                        |
|                                                                   | $L$ ——桩的长度<br>——电极间距<br>——地基的加固长度<br>——锚杆长度           |
|                                                                   | $L_e$ ——有效锚固长度                                        |
|                                                                   | $L_R$ ——瑞利波波长                                         |
|                                                                   | $l$ ——砂井间距, 旋喷桩桩孔间距,<br>桩的间距<br>——旁压仪测量腔长度            |

|                                   |                        |
|-----------------------------------|------------------------|
| ——基础长度                            | $p_f$ ——准弹性阶段的临塑压力     |
| ——灌浆体长度                           | $p_o$ ——桩尖持力层处的荷载      |
| $M$ ——落锤质量                        | $p_g$ ——灌浆压力           |
| ——力矩                              | $[p_g]$ ——允许灌浆压力       |
| ——水玻璃的模数                          | $p_m$ ——喷射动压力          |
| $m$ ——面积置换率                       | $p_s$ ——静力触探试验比贯入阻力    |
| $m_D$ ——考虑基础埋深的承载力修正系数            | $p_w$ ——静水压力           |
| $m_e$ ——激振器偏心块质量                  | $p_z$ ——附加压力           |
| $m_v$ ——体积压缩系数                    | $P_o$ ——地基的初始水平应力      |
|                                   | ——喷嘴出口压力               |
|                                   | ——桩群底面土的附加压力           |
| $N$ ——上部结构荷载                      | $Q$ ——流量, 注浆量, 地层总吸水量  |
| ——功率                              | ——吊车起重量                |
| $N$ ——标准贯入试验锤击数                   | $Q_u$ ——桩群总承载力         |
| $N_v$ ——强夯最佳夯实击数                  | $\dot{q}$ ——荷载的加荷速率    |
| $N_{10}$ ——轻型动力触探试验锤击数            | $q_o$ ——静力触探试验锥尖阻力     |
| $N_{(63.5)}$ ——重型( $z$ )动力触探试验锤击数 | $q_d$ ——动贯入阻力          |
| $N_{120}$ ——超重型动力触探试验锤击数          | $q_u$ ——无侧限抗压强度        |
| $n$ ——井径比                         | $q_o$ ——基础埋置深度以上的上覆压力  |
| ——桩、土应力比                          |                        |
| ——孔隙率                             | $R$ ——修正后的地基容许承载力      |
| ——桩数                              | ——半径                   |
| ——土的阻尼特征系数                        | $R$ ——阻尼常数             |
|                                   | ——电阻值                  |
| $O_e$ ——土工聚合物的当量孔径                | $[R]$ ——地基的容许承载力       |
| $P$ ——总荷重, 荷载                     | $R_g$ ——受拉钢筋的设计强度      |
| $P$ ——外扰力幅值                       | $R_p$ ——塑性区半径          |
| $P_a$ ——单桩容许承载力                   | $R_s$ ——旁压器长径比         |
| $P_u$ ——极限荷载                      | $R_{sp}$ ——复合地基的容许承载力  |
| $P_o$ ——比例界限荷载                    | $R_u$ ——地基的极限承载力       |
| $p$ ——单位面积荷载, 压力                  | $r$ ——径向座标, 径向距离       |
| ——渗透压力                            | ——半径                   |
| ——有效灌压力                           | $S$ ——地基的沉降量, 位移量, 变形量 |
| ——喷嘴入口压力                          | $S_o$ ——桩的周长           |
| $p_a$ ——大气压力                      | $\dot{S}$ ——沉降速率       |
| $p_s$ ——前期固结压力                    | $S_T$ ——岩石的抗拉强度        |
| $p_{cz}$ ——自重压力                   | $S_o$ ——最终固结沉降量        |

- $S_d$ ——瞬时沉降量  
 $S_r$ ——饱和度  
 $S_t$ ——灵敏度  
 $S_w$ ——纠偏或超纠偏沉降量  
 $S$ ——地基土的抗剪强度  
——标准离差  
 $S_p$ ——桩体的抗剪强度  
 $S_{sp}$ ——复合地基的抗剪强度  
 $S_v$ ——十字板抗剪强度  
  
 $T$ ——时间因数  
——加荷终止时间  
——土工聚合物的拉力、张应力  
 $T$ ——温度  
 $T_u$ ——锚杆的极限抗拔力  
 $T_v$ ——竖向固结时间因数  
 $T_o$ ——锚杆设计拉力  
 $t$ ——时间  
  
 $U$ ——地基土固结度  
 $\bar{U}$ ——地基土平均固结度  
 $u$ ——孔隙水压力  
——沉降（表面变位）  
——砂浆对钢筋的平均握裹应力  
——喷射体流速  
 $u_o$ ——起始孔隙水压力  
  
 $V$ ——电压  
 $V$ ——体积、总填料量  
 $V_p$ ——每米桩体的填料量  
 $v$ ——速度  
 $v_p$ ——压缩波波速  
 $v_s$ ——剪切波波速  
——应力波作用下的土颗粒速度  
 $v_R$ ——瑞利波波速  
  
 $W$ ——需水量  
——单位吸水量  
——浆液水灰比  
——土、挡墙、井柱自重  
 $w$ ——含水量  
——地层的单位吸水量  
 $w_L$ ——液限含水量  
 $w_p$ ——塑限含水量  
 $w_v$ ——最优含水量  
  
 $X$ ——水平座标  
 $x$ ——水平距离  
 $x_B$ ——回转转动时基础顶面水平振幅  
 $x_b$ ——回转转动时基础底面端边水平振幅  
 $x_h$ ——回转转动时基础底面中心水平振幅  
  
 $Z$ ——竖向座标  
——深度，垫层厚度  
——垂直向振动位移  
 $\dot{Z}$ ——垂直向振动速度  
 $\ddot{Z}$ ——垂直向振动加速度  
 $Z_n$ ——地基压缩层厚度  
 $Z_o$ ——标准冻深  
 $z$ ——垂直距离  
  
 $\alpha$ ——坡角  
——流变因数  
——十字板刃角  
——探杆校正系数  
——液化度  
  
 $\beta$ ——沉降折减系数  
——地基形状系数  
  
 $\gamma$ ——地基土的容重（重度）  
 $\gamma_d$ ——地基土的干容重（干土重度）  
 $\gamma_w$ ——水的容重（重度）  
 $\gamma_p$ ——基底以上地基土的加权平均容重（重度）

# 目 录

序

编者的话

本书主要符号

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 第1章 总 论 .....                                  | 1  |
| 1.1 地基处理的目的和意义 .....                           | 1  |
| 1.2 地基处理方法的分类及各种方法的适用范围 .....                  | 3  |
| 1.3 地基处理方法的选用原则及处理前后应注意事项 .....                | 10 |
| 1.3.1 地基处理方法设计顺序 .....                         | 10 |
| 1.3.2 确定地基处理方法前的准备工作 .....                     | 11 |
| 1.3.3 地基处理方法的选用原则 .....                        | 12 |
| 1.3.4 地基处理施工过程中和施工完成后的注意事项 .....               | 13 |
| 第2章 浅层处理 .....                                 | 15 |
| 2.1 概述 .....                                   | 15 |
| 2.2 表层压实法 .....                                | 15 |
| 2.3 垫层处理 .....                                 | 16 |
| 2.3.1 垫层作用和适用范围 .....                          | 16 |
| 2.3.2 砂和砂石垫层 .....                             | 17 |
| 2.3.3 灰土和素土垫层 .....                            | 20 |
| 2.3.4 碎石和矿渣垫层 .....                            | 23 |
| 2.3.5 工程实例 .....                               | 24 |
| [实例2-1] 某厂30000m <sup>3</sup> 浮顶油罐碎石垫层基础 ..... | 24 |
| 2-1.1 地质概况 .....                               | 24 |
| 2-1.2 基础构造 .....                               | 24 |
| 2-1.3 基础施工情况 .....                             | 24 |
| 2-1.4 沉降观测 .....                               | 24 |
| 2.4 重锤夯实法 .....                                | 25 |
| 2.5 短桩处理 .....                                 | 26 |
| 2.5.1 预制钢筋混凝土短桩 .....                          | 26 |
| [实例2-2] 三幢20层塔式高层建筑 .....                      | 26 |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 2-2.1 工程概况及土层的物理力学性质 .....         | 26 |
| 2-2.2 短桩设计方案的确定 .....              | 27 |
| 2-2.3 施工概况及实际效果 .....              | 28 |
| 2-2.4 设计计算 .....                   | 28 |
| 2.5.2 楔形桩处理 .....                  | 33 |
| [实例2-3] 保定塞片厂酒精蒸馏车间工程(1977年) ..... | 40 |
| 2-3.1 工程概况 .....                   | 40 |
| 2-3.2 地基条件 .....                   | 40 |
| 2-3.3 桩型设计 .....                   | 41 |
| 2-3.4 技术效果 .....                   | 41 |
| 2.6 褥垫法 .....                      | 41 |
| 2.7 灰土桩 .....                      | 42 |
| 参考文献 .....                         | 44 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第3章 排水固结法 .....         | 45  |
| 3.1 概述 .....            | 45  |
| 3.2 排水固结法的原理 .....      | 47  |
| 3.3 排水固结法的设计与计算 .....   | 48  |
| 3.3.1 预压法 .....         | 49  |
| 3.3.2 砂井排水法 .....       | 63  |
| 3.3.3 地基抗剪强度增长的预计 ..... | 74  |
| 3.3.4 稳定分析 .....        | 77  |
| 3.3.5 沉降计算 .....        | 80  |
| 3.4 施工工艺 .....          | 87  |
| 3.4.1 水平排水垫层的施工工艺 ..... | 87  |
| 3.4.2 竖向排水体的施工 .....    | 89  |
| 3.4.3 预压荷载 .....        | 97  |
| 3.5 效果检验及加荷速率的控制 .....  | 102 |
| 3.5.1 孔隙水压力观测 .....     | 102 |
| 3.5.2 沉降观测 .....        | 105 |
| 3.5.3 侧向位移观测 .....      | 107 |
| 3.6 工程实例 .....          | 109 |
| [实例3-1] 浙江炼油厂油罐地基 ..... | 109 |

|                                     |     |                            |     |
|-------------------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 3-1.1 工程概况.....                     | 109 | 楼工程灰土桩挤密地基.....            | 157 |
| 3-1.2 土层分析和各土层物理力学性质.....           | 110 | 4.2-2.1 工程概况.....          | 157 |
| 3-1.3 设计计算.....                     | 110 | 4.2-2.2 地基条件.....          | 157 |
| 3-1.4 砂井施工.....                     | 115 | 4.2-2.3 灰土桩设计和试验.....      | 158 |
| 3-1.5 效果及评价.....                    | 115 | 4.2-2.4 灰土桩施工.....         | 159 |
| 参考文献 .....                          | 118 | 4.2-2.5 效果简述.....          | 159 |
| 第 4 章 砂桩、土桩和灰土桩 .....               | 120 | 参考文献 .....                 | 160 |
| 4.1 砂桩.....                         | 120 | 第 5 章 振冲法 .....            | 161 |
| 4.1.1 概述.....                       | 120 | 5.1 振冲挤密.....              | 161 |
| 4.1.2 作用原理.....                     | 121 | 5.1.1 概述.....              | 161 |
| 4.1.3 设计计算.....                     | 122 | 5.1.2 原理.....              | 162 |
| 4.1.4 施工工艺.....                     | 127 | 5.1.3 设计计算.....            | 164 |
| 4.1.5 效果检验.....                     | 130 | 5.1.4 施工工艺.....            | 166 |
| 4.1.6 工程实例.....                     | 133 | 5.1.5 效果检验.....            | 168 |
| [实例4.1-1] 太原钢铁公司3 <sup>#</sup> 高炉系统 |     | 5.1.6 实例.....              | 168 |
| 热风炉工程砂桩地基.....                      | 133 | [实例5.1-1] 703楼房砂基处理 .....  | 168 |
| 4.1-1.1 工程概况.....                   | 133 | 5.1-1.1 工程概况.....          | 168 |
| 4.1-1.2 地基条件.....                   | 133 | 5.1-1.2 土层分布.....          | 169 |
| 4.1-1.3 砂桩设计.....                   | 133 | 5.1-1.3 施工概况.....          | 169 |
| 4.1-1.4 砂桩施工.....                   | 134 | 5.1-1.4 效果及评价.....         | 170 |
| 4.1-1.5 技术经济效益.....                 | 134 | [实例5.1-2] 龙口电厂场地抗液化处理..... | 171 |
| [实例4.1-2] 山西省财政厅办公大楼工               |     | 5.1-2.1 工程概况.....          | 171 |
| 程砂桩地基.....                          | 135 | 5.1-2.2 土层分布.....          | 171 |
| 4.1-2.1 工程概况.....                   | 135 | 5.1-2.3 施工概况.....          | 171 |
| 4.1-2.2 地基条件.....                   | 136 | 5.1-2.4 效果及评价.....         | 171 |
| 4.1-2.3 砂桩设计.....                   | 136 | [实例5.1-3] 铜山水泥厂粉砂地基处理..... | 172 |
| 4.1-2.4 砂桩施工.....                   | 136 | 5.1-3.1 工程概况.....          | 172 |
| 4.1-2.5 技术经济效益.....                 | 136 | 5.1-3.2 土层分布.....          | 172 |
| 4.2 土桩和灰土桩.....                     | 137 | 5.1-3.3 施工概况.....          | 172 |
| 4.2.1 概述.....                       | 137 | 5.1-3.4 效果及评价.....         | 172 |
| 4.2.2 作用原理.....                     | 137 | [实例5.1-4] 官厅水库拦河土坝下游坝      |     |
| 4.2.3 设计计算.....                     | 141 | 基砂层抗液化处理.....              | 173 |
| 4.2.4 施工工艺.....                     | 145 | 5.1-4.1 工程概况.....          | 173 |
| 4.2.5 效果检验.....                     | 152 | 5.1-4.2 施工概况.....          | 173 |
| 4.2.6 工程实例.....                     | 156 | 5.1-4.3 效果及评价.....         | 173 |
| [实例4.2-1] 甘肃省建工局木材厂单身               |     | [实例5.1-5] 北京东方化工厂场地抗液      |     |
| 宿舍工程土桩挤密地基.....                     | 156 | 化处理.....                   | 173 |
| 4.2-1.1 工程概况.....                   | 156 | 5.1-5.1 工程概况.....          | 173 |
| 4.2-1.2 地基条件.....                   | 156 | 5.1-5.2 土层分布.....          | 173 |
| 4.2-1.3 土桩设计.....                   | 156 | 5.1-5.3 施工概况.....          | 174 |
| 4.2-1.4 土桩施工.....                   | 156 | 5.1-5.4 效果及评价.....         | 174 |
| 4.2-1.5 效果简述.....                   | 157 | [实例5.1-6] 高层建筑松砂地基处理.....  | 174 |
| [实例4.2-2] 陕西省机电公司展销住宅               |     | 5.1-6.1 工程概况.....          | 174 |

|                               |     |                             |     |
|-------------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 5.1-6.2 土层分布·····             | 174 | 5.2-6.1 工程概况·····           | 209 |
| 5.1-6.3 施工概况·····             | 174 | 5.2-6.2 土层分布·····           | 210 |
| 5.1-6.4 效果及评价·····            | 174 | 5.2-6.3 施工概况·····           | 210 |
| 5.2 振冲置换·····                 | 175 | 5.2-6.4 效果及评价·····          | 211 |
| 5.2.1 概述·····                 | 175 | 参考文献·····                   | 212 |
| 5.2.2 原理·····                 | 176 | 第6章 强夯法·····                | 215 |
| 5.2.3 设计计算·····               | 177 | 6.1 概述·····                 | 215 |
| 5.2.4 施工工艺·····               | 191 | 6.1.1 强夯法的由来·····           | 215 |
| 5.2.5 效果检验·····               | 198 | 6.1.2 国内外进展情况·····          | 216 |
| 5.2.6 实例·····                 | 201 | 6.2 强夯法加固地基的机理·····         | 217 |
| [实例5.2-1] 南通天生港电厂扩建工程         |     | 6.2.1 概述·····               | 217 |
| 地基处理·····                     | 201 | 6.2.2 粘性土·····              | 218 |
| 5.2-1.1 工程概况·····             | 201 | 6.2.3 无粘性土·····             | 222 |
| 5.2-1.2 土层分布·····             | 202 | 6.2.4 饱和粘性土以及非饱和土的强夯        |     |
| 5.2-1.3 施工概况·····             | 202 | 加固微观机理·····                 | 224 |
| 5.2-1.4 效果及评价·····            | 204 | 6.2.5 国内强夯法实践与理论研究概况·····   | 226 |
| [实例5.2-2] 南京船舶修造厂船体车间         |     | 6.3 设计计算——强夯参数的确定及确         |     |
| 地基处理·····                     | 205 | 定原则·····                    | 228 |
| 5.2-2.1 工程概况·····             | 205 | 6.4 施工工艺及施工要点·····          | 231 |
| 5.2-2.2 土层分布·····             | 205 | 6.4.1 机具与设备·····            | 232 |
| 5.2-2.3 施工概况·····             | 205 | 6.4.2 施工要点·····             | 234 |
| 5.2-2.4 效果及评价·····            | 205 | 6.5 效果检验·····               | 235 |
| [实例5.2-3] 南京上元门水厂第二期工         |     | 6.5.1 室内试验·····             | 235 |
| 程地基处理·····                    | 205 | 6.5.2 十字板·····              | 235 |
| 5.2-3.1 工程概况·····             | 205 | 6.5.3 动力触探(包括标准贯入试验)·····   | 235 |
| 5.2-3.2 土层分布·····             | 206 | 6.5.4 静力触探·····             | 235 |
| 5.2-3.3 施工概况·····             | 207 | 6.5.5 旁压仪试验·····            | 235 |
| 5.2-3.4 效果及评价·····            | 207 | 6.5.6 载荷试验·····             | 235 |
| [实例5.2-4] 喀麦隆Lagdou堆石坝坝       |     | 6.5.7 波速试验·····             | 235 |
| 基软土层处理·····                   | 207 | 6.5.8 典型试验中的测试工作·····       | 235 |
| 5.2-4.1 工程概况·····             | 207 | 6.6 工程实例·····               | 243 |
| 5.2-4.2 土层分布·····             | 207 | [实例6-1] 强夯法加固秦皇岛煤码头细        |     |
| 5.2-4.3 施工概况·····             | 207 | 砂地基·····                    | 243 |
| 5.2-4.4 效果及评价·····            | 208 | 6-1.1 工程概况·····             | 243 |
| [实例5.2-5] 云南白药厂制剂车间地基         |     | 6-1.2 试验区的地质资料简介·····       | 243 |
| 处理·····                       | 208 | 6-1.3 设计·····               | 244 |
| 5.2-5.1 工程概况·····             | 208 | 6-1.4 施工概况·····             | 245 |
| 5.2-5.2 土层分布·····             | 208 | 6-1.5 效果及评价·····            | 245 |
| 5.2-5.3 施工概况·····             | 209 | [实例6-2] 廊坊中国建筑科学研究院机        |     |
| 5.2-5.4 效果及评价·····            | 209 | 械化研究所宿舍工程·····              | 248 |
| [实例5.2-6] 美国新奥尔良Jourdan Road港 |     | [实例6-3] 唐山河北小区住宅工程·····     | 249 |
| 区四泊位码头区软基处理·····              | 209 | [实例6-4] 北京枢纽321线塞口车站站房····· | 249 |

|                                       |     |                                 |     |
|---------------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| [实例6-5] 唐山钱家营工地.....                  | 253 | 7.5.2 砂砾层灌浆工艺.....              | 308 |
| [实例6-6] 高能量强夯法加固山西化肥<br>厂湿陷性黄土地基..... | 253 | 7.5.3 钻孔.....                   | 310 |
| 6.6.1 试验场地工程地质条件.....                 | 254 | 7.5.4 套壳料.....                  | 311 |
| 6.6.2 强夯试验设计.....                     | 255 | 7.5.5 袖阀管结构.....                | 312 |
| 6.6.3 强夯试验情况.....                     | 255 | 7.5.6 套壳料浇筑.....                | 313 |
| 6.6.4 强夯试验效果分析.....                   | 256 | 7.5.7 开环.....                   | 313 |
| 参考文献 .....                            | 260 | 7.5.8 灌浆.....                   | 314 |
| 第7章 灌浆法 .....                         | 263 | 7.6 灌浆实例.....                   | 317 |
| 7.1 概述.....                           | 263 | 7.6.1 应用范围.....                 | 317 |
| 7.1.1 定义.....                         | 263 | 7.6.2 地下隧道加固灌浆.....             | 320 |
| 7.1.2 目的.....                         | 263 | 7.6.3 用灌浆法提高钻孔桩承载力.....         | 322 |
| 7.1.3 对象.....                         | 263 | 7.6.4 建筑物地基加固.....              | 324 |
| 7.1.4 应用范围.....                       | 263 | 7.6.5 低透水性土的劈裂灌浆.....           | 325 |
| 7.2 灌浆材料.....                         | 264 | 7.6.6 碱液法加固湿陷性黄土.....           | 327 |
| 7.2.1 粒状浆材.....                       | 264 | 参考文献 .....                      | 329 |
| 7.2.2 粒状浆材的主要性质.....                  | 266 | 第8章 高压喷射注浆法 .....               | 331 |
| 7.2.3 化学浆材.....                       | 270 | 8.1 概述.....                     | 331 |
| 7.2.4 浆材评价及发展趋势.....                  | 275 | 8.1.1 高压喷射注浆法的概况.....           | 331 |
| 7.3 灌浆理论.....                         | 278 | 8.1.2 主要特征.....                 | 334 |
| 7.3.1 粒状浆材的可灌性.....                   | 279 | 8.1.3 适用范围.....                 | 335 |
| 7.3.2 浆液的流变性.....                     | 280 | 8.2 基本原理.....                   | 337 |
| 7.3.3 渗入性灌浆理论.....                    | 283 | 8.2.1 高压水喷射流的性质.....            | 337 |
| 7.3.4 劈裂灌浆理论.....                     | 285 | 8.2.2 高压喷射流的种类及其构造.....         | 338 |
| 7.3.5 压密灌浆理论.....                     | 287 | 8.2.3 加固地基的机理.....              | 342 |
| 7.3.6 电动化学灌浆原理.....                   | 288 | 8.2.4 加固土的基本性状.....             | 346 |
| 7.3.7 水玻璃加固黄土的机理.....                 | 289 | 8.3 设计.....                     | 348 |
| 7.3.8 碱液加固法.....                      | 290 | 8.3.1 喷射孔的间距及其配置.....           | 348 |
| 7.3.9 被灌介质强度增长机理.....                 | 290 | 8.3.2 注浆材料及配方.....              | 350 |
| 7.4 灌浆设计.....                         | 293 | 8.3.3 注浆材料的使用数量.....            | 354 |
| 7.4.1 设计程序.....                       | 293 | 8.4 施工.....                     | 354 |
| 7.4.2 设计内容.....                       | 293 | 8.4.1 施工机器及设备.....              | 354 |
| 7.4.3 方案选择.....                       | 293 | 8.4.2 施工程序.....                 | 365 |
| 7.4.4 灌浆标准.....                       | 295 | 8.4.3 喷射工艺.....                 | 368 |
| 7.4.5 浆材及配方设计原则.....                  | 298 | 8.4.4 施工管理.....                 | 370 |
| 7.4.6 浆液扩散半径的确定.....                  | 299 | 8.5 效果检验.....                   | 371 |
| 7.4.7 单排孔的布置.....                     | 300 | 8.5.1 质量检查的内容.....              | 371 |
| 7.4.8 多排孔的布置.....                     | 302 | 8.5.2 质量检查方法.....               | 371 |
| 7.4.9 容许灌浆压力的确定.....                  | 303 | 8.6 工程实例.....                   | 374 |
| 7.4.10 灌浆效果检查 .....                   | 306 | [实例8-1] 浙江大学第六教学大楼地基<br>加固..... | 375 |
| 7.5 灌浆工艺.....                         | 307 | 8-1.1 工程概况.....                 | 375 |
| 7.5.1 裂隙岩石灌浆工艺.....                   | 307 | 8-1.2 土层分析和各土层物理力学性质.....       | 375 |

|                           |     |                           |     |
|---------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 8-1.3 设计.....             | 375 | 参考文献 .....                | 397 |
| 8-1.4 施工概况.....           | 376 | 第 9 章 深层搅拌法.....          | 399 |
| 8-1.5 效果及评价.....          | 376 | 9.1 概述.....               | 399 |
| [实例8-2] 军都山隧道坍方的整治.....   | 376 | 9.1.1 深层搅拌法的定义.....       | 399 |
| 8-2.1 工程概况.....           | 376 | 9.1.2 深层搅拌技术发展概况.....     | 400 |
| 8-2.2 土层分析及工程地质纵剖面图.....  | 379 | 9.1.3 深层搅拌法的适用范围.....     | 402 |
| 8-2.3 设计.....             | 379 | 9.2 水泥系深层搅拌法.....         | 402 |
| 8-2.4 施工概况.....           | 380 | 9.2.1 水泥加固土的原理.....       | 402 |
| 8-2.5 效果评价.....           | 381 | 9.2.2 室内外试验.....          | 405 |
| [实例8-3] 神秘隧道地基加固.....     | 381 | 9.2.3 设计计算.....           | 410 |
| 8-3.1 工程概况.....           | 381 | 9.2.4 施工技术.....           | 414 |
| 8-3.2 土层分析和各土层物理力学性质..... | 381 | 9.2.5 加固效果检验.....         | 420 |
| 8-3.3 三重管旋喷设计.....        | 381 | 9.2.6 工程实例.....           | 421 |
| 8-3.4 施工概况.....           | 383 | [实例9-1] 民用住宅软土地基深层搅拌      |     |
| 8-3.5 效果及评价.....          | 384 | 加固法的应用.....               | 421 |
| [实例8-4] 杭州重型机械厂W160型镗     |     | 9-1.1 工程概况.....           | 421 |
| 铣床基坑开挖的支护.....            | 384 | 9-1.2 拟建场地工程地质条件.....     | 421 |
| 8-4.1 工程概况.....           | 384 | 9-1.3 设计.....             | 421 |
| 8-4.2 土层分析和各土层物理力学性质..... | 384 | 9-1.4 施工.....             | 426 |
| 8-4.3 设计.....             | 384 | 9-1.5 质量检验.....           | 427 |
| 8-4.4 施工概况.....           | 387 | [实例9-2] 深层搅拌水泥土挡墙.....    | 428 |
| 8-4.5 效果及评价.....          | 387 | 9-2.1 工程概况.....           | 428 |
| [实例8-5] 辽阳沙河池排水站堤坝基础      |     | 9-2.2 土质条件.....           | 429 |
| 防渗.....                   | 387 | 9-2.3 水泥土挡墙设计.....        | 430 |
| 8-5.1 工程概况.....           | 387 | 9-2.4 水泥土挡墙的施工.....       | 433 |
| 8-5.2 地质情况.....           | 388 | 9-2.5 加固效果检验.....         | 433 |
| 8-5.3 设计.....             | 388 | [实例9-3] 工业厂房软土地基深层搅拌      |     |
| 8-5.4 施工概况.....           | 389 | 加固工程.....                 | 434 |
| 8-5.5 效果及评价.....          | 389 | 9-3.1 工程概况.....           | 434 |
| [实例8-6] 广深铁路K2+150段路基加    |     | 9-3.2 土质资料.....           | 434 |
| 固.....                    | 390 | 9-3.3 地基加固设计.....         | 434 |
| 8-6.1 工程概况.....           | 390 | 9-3.4 施工概况.....           | 436 |
| 8-6.2 地质条件.....           | 390 | 9-3.5 地基加固效果评价.....       | 437 |
| 8-6.3 设计.....             | 390 | 9.3 石灰粉体深层喷射搅拌法.....      | 438 |
| 8-6.4 旋喷施工概况.....         | 392 | 9.3.1 粉体喷射搅拌法的原理.....     | 438 |
| 8-6.5 效果及评价.....          | 392 | 9.3.2 粉体喷射搅拌法加固软土地基的      |     |
| [实例8-7] 宝钢初轧一号铁皮坑开挖的      |     | 设计计算.....                 | 441 |
| 稳定.....                   | 392 | 9.3.3 施工工艺.....           | 443 |
| 8-7.1 工程概况.....           | 392 | 9.3.4 效果检验.....           | 446 |
| 8-7.2 土层分析及各土层物理力学性质..... | 392 | 9.3.5 工程实例.....           | 447 |
| 8-7.3 设计.....             | 393 | [实例9-4] 粉体喷射搅拌法的工程应用..... | 447 |
| 8-7.4 施工概况.....           | 396 | 9-4.1 工程概况.....           | 447 |
| 8-7.5 效果与评价.....          | 397 | 9-4.2 土层分析和各土层物理力学性质..... | 447 |

|                                   |     |                                    |     |
|-----------------------------------|-----|------------------------------------|-----|
| 9-4.3 地基加固设计.....                 | 448 | 10-2.2 土层分析和各土层的物理力学性质 .....       | 486 |
| 9-4.4 效果及评价.....                  | 450 | 10-2.3 设计 .....                    | 486 |
| 参考文献 .....                        | 452 | 10-2.4 施工 .....                    | 489 |
| 第10章 土工聚合物.....                   | 454 | 10-2.5 效果及评价 .....                 | 491 |
| 10.1 概述 .....                     | 454 | [实例10-3] 土工聚合物在排水法加固软基工程中的应用 ..... | 492 |
| 10.1.1 名称说明 .....                 | 454 | 10-3.1 工程概况 .....                  | 492 |
| 10.1.2 土工聚合物的发展及应用历史和现状 .....     | 454 | 10-3.2 土层的工程地质条件和物理力学性质 .....      | 492 |
| 10.1.3 存在的问题及如何继续发展土工聚合物的技术 ..... | 456 | 10-3.3 设计 .....                    | 492 |
| 10.2 土工聚合物的类型及特性 .....            | 457 | 10-3.4 施工 .....                    | 494 |
| 10.2.1 土工聚合物的原料、制造及产品类别.....      | 457 | 10-3.5 效果及评价 .....                 | 497 |
| 10.2.2 土工聚合物的特性 .....             | 460 | [实例10-4] 用土工纤维整治铁路路基翻浆冒泥 .....     | 497 |
| 10.3 土工聚合物的作用、原理及应用 .....         | 464 | 10-4.1 工程概况 .....                  | 497 |
| 10.3.1 作用和原理 .....                | 464 | 10-4.2 路基基床及其土的物理力学性质 .....        | 497 |
| 10.3.2 应用示例 .....                 | 467 | 10-4.3 设计 .....                    | 498 |
| 10.4 设计、施工要点 .....                | 469 | 10-4.4 施工概况 .....                  | 500 |
| 10.4.1 设计要点 .....                 | 469 | 10-4.5 效果及评价 .....                 | 500 |
| 10.4.2 施工要点 .....                 | 474 | [实例10-5] 土工格栅在软基上筑路的应用 .....       | 500 |
| 10.5 土工聚合物基本性质的试验和检测方法 .....      | 475 | 10-5.1 工程概况 .....                  | 500 |
| 10.5.1 厚度和孔隙尺寸及分布试验 .....         | 475 | 10-5.2 地基土层简述 .....                | 501 |
| 10.5.2 抗拉强度试验 .....               | 476 | 10-5.3 设计与布置 .....                 | 501 |
| 10.5.3 撕裂试验 .....                 | 477 | 10-5.4 粒料土底部垫层的施工 .....            | 502 |
| 10.5.4 顶破、冲穿强度试验 .....            | 477 | 10-5.5 工程初步效果 .....                | 503 |
| 10.5.5 蠕变试验 .....                 | 478 | 参考文献 .....                         | 503 |
| 10.5.6 摩擦系数试验 .....               | 478 | 第11章 锚固技术 .....                    | 506 |
| 10.5.7 拉拔试验 .....                 | 479 | 11.1 概述 .....                      | 506 |
| 10.5.8 三轴试验 .....                 | 479 | 11.1.1 灌浆锚杆 .....                  | 506 |
| 10.5.9 透水性试验 .....                | 479 | 11.1.2 锚定板结构 .....                 | 508 |
| 10.5.10 耐久性或老化性能.....             | 480 | 11.1.3 加筋土结构 .....                 | 510 |
| 10.6 实例 .....                     | 481 | 11.2 灌浆锚杆的抗拔力 .....                | 511 |
| [实例10-1] 土工纤维在云南麦子河水库土坝中的应用 ..... | 481 | 11.2.1 锚固段的砂浆对钢筋的握裹力 .....         | 512 |
| 10-1.1 工程概况 .....                 | 481 | 11.2.2 锚固段孔壁的抗剪强度 .....            | 513 |
| 10-1.2 坝址工程地质条件 .....             | 481 | 11.2.3 灌浆锚杆抗拔力的设计和试验确定 .....       | 514 |
| 10-1.3 设计和试验 .....                | 482 | 11.3 灌浆锚杆的设计工作 .....               | 514 |
| 10-1.4 施工概况 .....                 | 485 | 11.3.1 锚杆的配置及其设计拉力的确定 .....        | 515 |
| 10-1.5 工程效果及评价 .....              | 486 | 11.3.2 锚杆体的设计 .....                | 515 |
| [实例10-2] 土工纤维与砂井综合处理软土地基 .....    | 486 | 11.3.3 基坑锚杆护壁的整体稳定性检算 .....        | 516 |
| 10-2.1 工程概况 .....                 | 486 | 11.3.4 锚杆挡土墙的设计程序 .....            | 518 |