

建设系统专业技术人员继续教育丛书

地基处理技术

中国建设教育协会继续教育委员会编

阎明礼 主编



中国环境科学出版社

403522

建设系统专业技术人员继续教育丛书

地基处理技术

中国建设教育协会继续教育委员会 编

阎明礼 主编

中国环境科学出版社

· 北京 ·

(京) 新登字 089 号

DV21/15
图书在版编目 (CIP) 数据

地基处理技术/阎明礼主编. --北京: 中国环境科学出版社, 1995

(建设系统专业技术人员继续教育丛书)

ISBN 7-80093-845-X

I. 地… II. 阎… III. 地基处理-技术 IV. TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 14497 号

建设系统专业技术人员继续教育丛书

地基处理技术

中国建设教育协会继续教育委员会 编

阎明礼 主编

中国环境科学出版社出版

(100062 北京崇文区北岗子街 8 号)

北京市燕山联营印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1996 年 2 月 第 一 版 开本 787×1092 1/16

1996 年 2 月第一次印刷 印张 25 3/4

印数 1-10 000 字数 610 千字

ISBN 7-80093-845-X/G · 463

定价: 32.00 元

建设系统专业技术人员继续教育丛书

编辑委员会

顾问：毛如柏 建设部副部长

主任委员：许溶烈 建设部科学技术委员会副主任委员
中国土木工程学会理事长

副主任委员：祝自玉 中国建设教育协会副理事长
建设部干部学院党委书记

李竹成 中国建设教育协会副理事长
建设部人事教育劳动司副司长

委员：(以姓氏笔划为序)

王文元 中国建筑技术研究院 研究员

王庆修 中国建设教育协会继续教育委员会副主任委员
中国建筑科学研究院教育处长 高级工程师

丛培经 北京建筑工程学院 教授

阎明礼 中国建筑科学研究院地基所副所长 研究员

李承刚 国家建筑工程技术研究中心常务副主任 研究员

何健安 建设部科技委员会委员 教授级高工

余平 中国建筑技术研究院 研究员

陈惠玲 中国建筑科学研究院结构所 研究员

施炳华 中国建筑科学研究院电子计算中心主任 高级工程师

赵西安 中国建筑科学研究院结构所 教授

苗润生 中国环境科学出版社副总编辑 副编审

贾凤池 中国建设教育协会继续教育委员会委员
中国建筑技术研究院人事处处长

龚伟 中国建设教育协会继续教育委员会主任委员
建设部干部学院 研究员

龚仕杰 中建一局副总工程师 教授级高工

龚洛书 中国建筑科学研究院建筑材料及制品所原所长
研究员

韩慧娟 中国建设教育协会继续教育委员会秘书长
建设部干部学院 副研究员

序

根据建设部《关于“八五”期间加强建设系统专业技术人员继续教育工作的意见》提出的要求，中国建设教育协会继续教育委员会组织国内建设领域知名专家编写了这套《建设系统专业技术人员继续教育丛书》。丛书的读者对象是具有大专以上学历文化程度、中级以上专业技术职务的专业技术人员，内容以介绍、阐述实用新技术及管理为主。这是我国建设系统专业技术人员继续教育工作的一件大事。尽管过去我们早已开展了不同层次的专业技术人员的继续教育，也编辑出版了许多教材并取得了一定的收效，但密切配合本系统专业技术人员继续教育工作的要求和部署，有计划地、系统地组织编写这样一套丛书尚属首次，应当说，此举是任重道远、意义深远的大事，也是一个良好的开端。

本丛书的编辑出版，旨在进一步推进建设系统专业技术人员继续教育工作的开展，但由于我国建设系统的规模庞大，队伍基础不一，尤其是近年来我国经济建设的需求日益增长，建筑科学技术的不断发展，丛书的内容是否合适和完善，还有待教育实践来检验，有待广大读者和教学工作者来评价。我认为有一点是肯定的，那就是建设系统的人员不管是哪一个层次都需要“继续教育”，其教材也自应“继续充实”、“继续更新”。

国家发展的关键在人才，人才培养的基础靠教育。教育兴国、教育图强乃无数中外历史所证明了事实。面临世纪之交的我国现代化教育，更要加强和重视教育的三个环节：正规教育、职业实践和继续教育。应当说，这三个环节（或阶段）都是重要和缺一不可的，但是由于时代的发展，人生经历的时间和对教育观念的更新来说，特别强调一下继续教育的重要性和必要性似不为过。上面我所说的这些话，不仅是为了谈谈个人的认识和感受，更是为了指出丛书的组织者、编写者和出版者所做工作的意图以及我本人对他们的敬意。敬佩之余，特提笔写下本人的感想，以此作为丛书的序言。

许溶烈

1995年5月22日

出版说明

继续教育是不断提高专业技术队伍素质,使之适应经济、科技和社会发展的需要,实现科学技术转化为现实生产力的重要途径。为使建设系统专业技术人员的继续教育尽快纳入科学化、制度化和经常化的轨道,推动继续教育的开展,提高具有工程师以上专业技术职务的技术人员的素质,中国建设教育协会继续教育委员会按建设部(1992)501号文件所列科目,邀请国内建设领域的知名专家,按突出新理论、新技术、新方法,注重实用,篇幅精练的原则,编写一套继续教育丛书。丛书将根据需要,分专业、分批出版。

本丛书的编写和出版,得到建设部、中国建筑科学研究院、中国建筑技术研究院、中国建筑第一工程局、北京建筑工程学院、中国环境科学出版社的大力支持,谨向为本书做出贡献的所有同志致以衷心的感谢。

本丛书以具有中级技术职务的专业技术人员为主要对象,也可供大专院校师生选修参考和作为短期培训班的教材。

中国建设教育协会继续教育委员会

1995年8月

前 言

随着国民经济建设的迅猛发展，给岩土工程领域提出了许多新的课题。经人们不断地实践、认识、总结和提高，一批批新的科研成果在工程建设中得到了推广应用。尤其地基处理技术，近十几年来的发展给人以耳目一新的感觉。一些成熟的常用方法有了进一步发展，不少新的方法出现并在技术上日渐成熟，有的已进入实用阶段。

为了更好地为国民经济建设服务，本着普及和提高兼顾的原则，吸收国内外的最新科研成果，力求在内容上体现先进性、实用性、针对性和适当超前性编写了此书。

全书共分九章，介绍了八个处理方法，它们是：垫层法、强夯法、散体桩复合地基、石灰桩、灰土桩复合地基、水泥土桩复合地基、CFG 桩复合地基、高压喷射注浆法和灌浆法。

对一些常用的方法，力图利用近些年的科研成果写出它们的发展和提高，有些方法和内容是目前一些手册和专著尚未列入的。有的方法，如 CFG 桩复合地基成套技术是国家科委国家级全国重点推广成果。对每个方法，重点阐述了加固机理、适用范围、设计计算和施工工艺，并给出了较多的工程实例，以便设计、施工时参考。

本书作者名单如下（按章节为序）：

阎明礼 中国建筑科学研究院地基所，副所长、研究员。

关廷杰 河北省建筑科学研究院，副总工程师、高级工程师。

裘以惠 太原工业大学土木系，教授。

袁内镇 湖北省建筑科学研究设计院，副总工程师、高级工程师。

朱庆麟 北京市城乡建设基础工程公司，副总工程师、副研究员。

熊厚金 中科院广州化学灌浆工程总公司，总工程师、教授级高级工程师。

各章分工如下：

第一章：阎明礼，第二章：吴廷杰，第三章：裘以惠，第四章：吴廷杰，第五章：袁内镇，第六章：袁内镇、阎明礼，第七章：阎明礼，第八章：朱庆麟，第九章：熊厚金。

由于作者水平所限，编写时间又很仓促，书中不妥甚至错误在所难免，请读者批评指正。

目 录

第一章 总 论

第一节 土的分类	(1)
第二节 土的变形和强度特性	(1)
一、应力应变关系非线性、非弹性	(1)
二、球应力和偏应力对变形的交叉影响	(2)
三、土的模量	(2)
四、土的强度与外荷的相关性	(3)
五、土对动荷的敏感性	(4)
第三节 建筑地基类型及问题	(4)
一、特殊土地基	(4)
二、非均匀地基	(6)
三、山区地基	(6)
四、可液化地基	(6)
五、大面积人工填土地基	(6)
六、均匀地基	(7)
第四节 地基处理方法	(7)
一、密实法	(8)
二、置换法	(9)
三、复合地基法	(9)
四、加筋法	(11)
五、灌浆法	(11)
第五节 地基处理方案选择	(11)
一、承载力分析	(11)
二、地基处理方法的联合使用	(12)
三、地基处理规划的合理性	(13)

第二章 垫 层 法

第一节 概述	(15)
第二节 压实原理及压实参数	(16)
一、压实原理	(16)
二、压实参数	(17)
第三节 垫层的设计	(18)
一、砂垫层的设计	(18)

二、上垫层和灰土垫层的设计	(20)
第四节 垫层的施工	(21)
一、砂和砂石垫层的施工	(21)
二、灰土垫层和土垫层的施工	(23)
第五节 粉煤灰垫层和高炉矿渣垫层	(24)
一、粉煤灰垫层	(24)
二、高炉矿渣垫层	(25)
第六节 垫层的质量检验与检测	(25)
一、垫层的质量检验	(25)
二、垫层的质量检测	(26)

第三章 强力夯实法（强夯法）

第一节 强夯法的沿革与发展	(27)
第二节 强夯法加固地基的原理	(28)
一、强夯法加固地基的机理	(28)
二、强夯法与重锤夯实的区别	(44)
第三节 强夯法加固地基主要参数的设计与研究	(46)
一、加固深度	(46)
二、单位面积夯击能	(51)
三、孔隙水压力增长和消散规律	(53)
四、分遍与夯点间距	(53)
五、夯锤	(55)
六、起夯面	(55)
七、垫层	(56)
八、强夯加固土的触变恢复	(56)
九、强夯时的场地变形及振动影响	(56)
第四节 正式强夯前的试夯	(60)
第五节 强夯施工要点	(60)
第六节 强夯检验	(61)
第七节 工程实例	(62)
一、二次强夯法处理粉土液化地基	(62)
二、山西化肥厂湿陷性黄土地基强夯处理	(65)
三、三门峡电厂湿陷性黄土强夯	(72)
四、武汉钢铁公司第四烧结厂强夯填渣挤淤及夯扩渣桩加填渣强夯处理淤泥、 淤泥质土试验及应用	(73)

第四章 散体桩复合地基

第一节 概述	(80)
一、散体桩的定义.....	(80)
二、散体桩的分类.....	(80)
第二节 散体桩的加固机理	(83)
一、振冲碎石桩加固地基的机理.....	(83)
二、干振碎石桩加固地基的机理.....	(88)
三、渣土桩加固地基机理.....	(102)
四、强夯置换加固地基机理.....	(103)
第三节 散体桩复合地基的设计计算	(103)
一、散体桩复合地基的适用范围.....	(103)
二、加固范围.....	(104)
三、布桩原则.....	(104)
四、桩长的确定.....	(104)
五、承载力和变形计算.....	(104)
第四节 散体桩的施工	(107)
一、振冲碎石桩的施工.....	(107)
二、干振碎石桩的施工.....	(117)
三、渣土桩的施工.....	(120)
四、强夯置换碎石桩的施工.....	(121)
第五节 检测	(122)
一、复合地基载荷试验和单桩载荷试验.....	(122)
二、取土试验.....	(123)
三、原位测试.....	(123)
四、碎石桩质量检测仪.....	(123)
第六节 工程实例	(123)
一、振冲碎石桩加固西柏坡电厂粉土地基.....	(123)
二、振冲碎石桩加固烟台交通大厦地基.....	(127)
三、干振碎石桩加固上安电厂填土地基.....	(127)
四、干振碎石桩加固石家庄卷烟厂宿舍楼杂填土地基.....	(128)
五、沉管成孔挤密建筑废渣桩加固廊坊管道局宿舍楼.....	(129)
六、长锤夯实法加固沧州文庙综合楼.....	(130)

第五章 石灰桩及灰土桩复合地基

第一节 概况	(133)
一、概述.....	(133)

二、发展简况·····	(133)
第二节 石灰桩加固软土的机理 ·····	(135)
一、桩体材料及配合比·····	(135)
二、石灰桩的物理加固作用·····	(141)
三、石灰桩的化学加固作用·····	(146)
四、石灰桩的水下硬化机理·····	(148)
五、石灰桩的龄期·····	(149)
第三节 石灰桩复合地基的设计计算 ·····	(150)
一、适用范围及技术特点·····	(150)
二、设计参数及技术要点·····	(151)
三、石灰桩复合地基的承载特性·····	(151)
四、石灰桩复合地基的承载力计算·····	(155)
五、石灰桩复合地基的变形计算·····	(156)
第四节 施工工艺 ·····	(161)
一、管外投料法·····	(161)
二、管内投料施工法·····	(163)
三、挖孔投料法·····	(164)
四、国外的施工方法·····	(165)
五、其它施工方法·····	(167)
第五节 施工质量控制和效果检验 ·····	(167)
一、施工质量控制·····	(167)
二、加固效果检验·····	(168)
第六节 施工实例—湖北襄阳轴承厂 12 街坊住宅地基处理 ·····	(169)
第七节 灰土桩复合地基 ·····	(171)
一、灰土桩简介·····	(171)
二、灰土桩的适用范围及技术特点·····	(172)
三、灰土桩的作用机理·····	(173)
四、灰土桩的应用要点·····	(173)

第六章 水泥土桩复合地基

第一节 概况 ·····	(176)
一、概述·····	(176)
二、发展概况·····	(176)
三、工程应用情况·····	(179)
第二节 水泥土桩的作用机理 ·····	(180)
一、水泥土的固化原理·····	(180)
二、水泥土桩复合地基桩间土的性状·····	(181)
第三节 桩体材料 ·····	(184)

一、固化材料·····	(184)
二、混合材料·····	(188)
三、桩体的物理力学指标·····	(188)
第四节 设计计算 ·····	(201)
一、适用范围和技术特点·····	(201)
二、技术措施和要点·····	(202)
三、水泥土桩复合地基的承载力计算·····	(204)
四、水泥土桩复合地基的变形计算·····	(205)
五、水泥土挡墙的计算原则·····	(206)
第五节 水泥土桩的施工工艺 ·····	(207)
一、水泥浆液搅拌法 (CDM 法) ·····	(207)
二、粉体搅拌法 (DJM 法) ·····	(213)
三、夯实水泥土桩·····	(217)
第六节 施工质量及加固效果检验 ·····	(218)
一、施工质量检验·····	(218)
二、加固效果检验·····	(219)
第七节 工程实例——汕头广信房地产公司综合楼地基处理 ·····	(221)

第七章 CFG 桩复合地基

第一节 概述 ·····	(224)
第二节 桩体材料及其性状 ·····	(225)
一、桩体材料·····	(225)
二、桩体配比·····	(225)
三、养护条件·····	(226)
四、桩体应力应变特性·····	(226)
第三节 垂直荷载作用下复合地基性状 ·····	(227)
一、桩、土受力特性·····	(227)
二、复合地基变形特性·····	(229)
第四节 褥垫层技术 ·····	(235)
一、褥垫层的作用·····	(236)
二、褥垫层的合理厚度·····	(239)
第五节 CFG 桩复合地基工程特性 ·····	(239)
一、承载力提高幅度大可调性强·····	(239)
二、适应范围广·····	(239)
三、刚性桩的性状明显·····	(240)
四、桩体的排水作用·····	(241)
五、时间效应·····	(241)
六、桩体强度和承载力的关系·····	(242)

七、复合地基变形小·····	(242)
第六节 复合地基设计计算 ·····	(243)
一、承载力计算·····	(243)
二、沉降计算·····	(244)
三、复合地基设计·····	(246)
第七节 CFG 桩施工 ·····	(249)
一、施工设备·····	(249)
二、施工程序·····	(252)
三、施工中常见的几个问题·····	(254)
四、施工工艺研究成果·····	(255)
五、施工质量控制措施·····	(258)
六、施工检测及验收·····	(259)
第八节 工程实例 ·····	(260)
工程实例一 南京造纸厂地基处理·····	(260)
工程实例二 山东省德州地区医药管理局综合住宅楼地基处理工程·····	(264)

第八章 高压喷射注浆法

第一节 概况 ·····	(267)
第二节 高压喷射注浆的定义及其种类 ·····	(268)
一、高压喷射注浆的定义·····	(268)
二、高压喷射注浆法的种类·····	(269)
第三节 高压喷射注浆法的特征及工程对象 ·····	(275)
一、固结体的基本性状·····	(275)
二、高压喷射注浆法的主要特征·····	(276)
三、工程对象·····	(278)
第四节 高压喷射注浆加固地基原理 ·····	(282)
一、高压喷射流的基本形态·····	(282)
二、固化机理·····	(286)
三、高压喷射注浆的可靠性·····	(290)
第五节 注浆材料及配方 ·····	(293)
一、浆液材料的分类及配方·····	(293)
二、选用浆液的原则·····	(296)
第六节 勘察与设计 ·····	(297)
一、工程勘察·····	(297)
二、设计·····	(298)
三、高压喷射注浆布孔·····	(300)
第七节 主要施工机具及监测仪表 ·····	(303)
一、主要施工机具·····	(303)

二、监测仪表·····	(311)
第八节 施工 ·····	(311)
一、组织与准备工作·····	(311)
二、施工顺序与操作·····	(312)
三、施工质量管理·····	(214)
第九节 质量检验 ·····	(315)
一、质量检验的主要内容·····	(315)
二、检验数量·····	(315)
三、质检方法·····	(315)
第十节 工程实例 ·····	(318)
一、旋喷复合地基·····	(318)
二、旋喷加固不均匀地基·····	(321)
三、砂砾、块石有孤石地层围堰定喷防渗墙·····	(323)
四、井筒支护·····	(325)
五、水坝坝基防渗·····	(328)
六、深基坑防水帷幕墙·····	(328)
七、排洪隧道旋喷支挡·····	(331)
八、既有建筑物地基加固与纠偏·····	(334)

第九章 灌浆法

第一节 概述 ·····	(338)
一、定义·····	(338)
二、目的和应用范围·····	(338)
第二节 灌浆材料 ·····	(343)
一、灌浆材料的分类·····	(343)
二、常用灌浆材料及其特性·····	(344)
第三节 灌浆加固原理 ·····	(355)
一、渗透灌浆·····	(356)
二、劈裂灌浆·····	(356)
三、强制灌浆·····	(356)
第四节 灌浆工程施工设计 ·····	(357)
一、灌浆设计程序·····	(357)
二、灌浆设计的内容和步骤·····	(357)
三、灌浆设计实例·····	(362)
第五节 工艺与设备 ·····	(367)
一、灌浆工艺·····	(367)
二、灌浆设备·····	(371)
第六节 施工控制与效果检测 ·····	(373)

一、施工控制·····	(373)
二、计算机监控·····	(375)
三、灌浆标准·····	(375)
四、效果检测·····	(378)
第七节 地基处理中的应用实例·····	(378)
一、坝基断层软弱夹层的灌浆·····	(378)
二、隧道流塑粘土大突泥的固结灌浆·····	(381)
三、高层建筑复合地基的补强灌浆·····	(382)
四、坝基深层岩石的固结灌浆·····	(383)
五、浅埋暗挖法修建地铁车站中的灌浆固砂工程·····	(384)
六、砂井开凿固结软弱地层和堵水灌浆·····	(385)
七、深淤泥层基坑开挖的灌浆帷幕箱工程·····	(385)
八、强透水层中的排桩灌浆联合护壁工程·····	(386)
九、灌浆用于地下连续护壁墙的抢险工程·····	(386)
十、多层建筑的纠偏灌浆·····	(387)
十一、提高桩基承载力的灌浆·····	(388)
十二、提高桩基混凝土标号的灌浆·····	(388)
十三、湿陷性黄土的灌浆·····	(389)
十四、保护文物的灌浆·····	(389)
参考文献·····	(390)

第一章 总 论

第一节 土的分类

土是不同岩石受物理化学风化作用的产物。由于岩石矿物成分的不同，土在自然界经历剥蚀、搬运、分选、堆积的过程不同，使土的结构、物理力学性质差异很大。

人类生存与土密切相关，除了利用土地耕种之外，更多的是在土上或在土中修建各种类型的建筑物或构筑物。来自建筑物的荷载是通过基础传给土的，承受来自基础的全部荷载的这一部分土层，称为建筑物的地基。

从工程角度来看，人们更关心的是建筑物下面的地基土。为了更好地认识土，按照其特性，将之分成若干类，以便使工程技术人员大体把握不同类型土的性状。

出于不同的目的，土的分类也不尽相同，建工部门按《建筑地基基础设计规范》GBJ7—89 和《岩土工程勘察规范》GB50021—94 对土进行分类，即将岩土分为：岩石、碎石土、砂土、粉土、粘性土和人工填土等。

岩石又可分为三个亚类，按风化程度分为微风化、中等风化和强风化。

碎石土也可分为三个亚类：漂石、块石；卵石、碎石；圆砾、角砾。

砂土分为五个亚类：砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂。

粘性土分两个亚类：塑性指数 $I_p > 17$ 为粘土； $10 < I_p \leq 17$ 为粉质粘土。

粉土是塑性指数小于或等于 10，其性质介于砂土和粘性土之间。

填土分三个亚类：素填土、杂填土和冲填土。

淤泥是在静水或缓慢的流水环境中沉积，并经生物化学作用形成，其天然含水量大于液限、天然孔隙比大于或等于 1.5 的粘性土。天然孔隙比小于 1.5 但大于 1.0 的土称为淤泥质土。

此外，有些土是在特殊工程地质环境中生成的，具有特殊的物理力学性质，这些土称为特殊土，如软土、膨胀土、湿陷性黄土、多年冻土、红粘土、盐渍土等。山区地基土也有许多与一般土不同的工程性质。

第二节 土的变形和强度特性

一、应力应变关系非线性、非弹性

土的应力应变关系在应力很小时可近似地认为是具有线性和弹性性状，但实际上从加荷一开始就呈非线性、非弹性性状。

所谓非线性是指土的应力应变关系不是直线变形规律，如图 1-1 中 OA 段。

非弹性是指卸荷时并非按 AO 路线返回 O 点，而是沿 AB 路线变化，并产生不可恢复