



地基处理

江正荣 主编

便携手册



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TU472-62

1

地基处理便携手册

江正荣 主编



机械工业出版社

本书是建筑工程便携手册系列丛书之一。

本书系根据国家最新颁布的建筑地基基础设计规范、地基处理技术规范和工程施工质量验收规范，总结国内各地区工程实践经验并结合最新资料编写而成。内容包括：概述、换填垫层法、夯实法、深层挤密（密实）法、预压（排水固结）法、化学（注浆）加固法、加筋法、其他地基处理法、局部地基处理、异常地基处理、山区地基处理、特殊土地基处理等。重点介绍加固机理、特点及适用范围、构造要求及工艺布置、机具设备和材料要求、施工工艺要点、质量控制及检验标准等，适合施工现场技术人员的理解、掌握和应用。也可供建筑类大专院校师生学习参考。

图书在版编目（CIP）数据

地基处理便携手册/江正荣主编. —北京：机械工业出版社，2004.10

ISBN 7-111-15061-9

I. 地... II. 江... III. 地基处理—技术手册
IV. TU472-42

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 081297 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：何文军 版式设计：张世琴 责任校对：张媛

封面设计：姚毅 责任印制：李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B6·5.1875 印张·2 插页·174 千字

0 001—4 000 册

定价：20.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

出版说明

21 世纪，举世瞩目的主要建筑市场是在中国。积极培养优秀建筑技术人才，不断提高技术水平，是面临此良好机遇的重要任务。

随着科学技术的进步，建筑业和建筑技术也不断迅速发展。近年来，国家制定并修订了新的施工规范；国内外的建筑新技术、新材料、新产品，不断应用于实际工程中。因此，在建筑安装施工领域，迫切需要一系列按建筑安装分项工程分类的详细而简明的介绍建筑安装工程施工工艺、操作技术和工程质量管理方面的综合性工具书。

为了满足广大建筑安装人员的需要，我社组织编写了建筑安装工程系列便携手册，按分项工程分册编写出版。手册贯彻国家及行业现行的施工质量标准和技术操作规程，紧密结合现场实际，突出实用性，文字简练，数据翔实，图文并茂。

限于经验、水平，手册中难免存在缺点错误，欢迎广大读者批评指正。

前 言

近年来，随着经济建设的蓬勃发展，在建筑、水利、铁路、交通、电力、化工等各项工程建设中，由于各地区自然地理环境不同，地质复杂多变，经常会遇到各种不良地基问题，必须进行处理；同时，由于工业生产发展的需要，许多工厂纷纷进行技术改造，也常提出各样的地基加固要求，使地基处理技术相应得到很大发展，引进、创新、开发了许多适应于不同地质和施工条件、不同使用要求和材料来源的系列化地基处理技术。通过各地区大量的工程实践，已积累了相当丰富的经验，地基处理技术水平有了很大提高，在许多方面已经达到国际先进水平。但同时，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、总结和提高。

为了适应各地区对地基处理技术的交流、提高和推广应用，我们根据国内各地区实践经验，并结合最新资料编写了这本手册，旨在贯彻执行国家最新修订颁布的建筑地基基础设计规范、地基处理技术规范 and 工程施工质量验收规范，充分反映我国地基处理的当

前先进水平，介绍比较成熟、有效的地基处理方法，供从事地基处理的设计和施工人员选用，以推动科技进步和适应新世纪建筑科学迅速发展的需要。

本手册共分 12 章，包括概述、换填垫层法、夯实法、深层挤密（密实）法、预压（排水固结）法、化学（注浆）加固法、加筋法、其他地基处理法、局部地基处理、异常地基处理、山区地基处理、特殊土地基处理等。其内容重点介绍加固机理、特点及适用范围、构造要求及工艺布置、机具设备及材料要求、施工工艺要点、质量控制及检验标准等。对桩基、沉井、地下连续墙等人工地基等在本手册中均未作介绍，读者可参阅“建筑安装工程系列便携手册”中的有关手册。

目前，国内外地基处理方法甚多，许多方法尚在不断发展中，每一种方法都有它的特殊性、适用场合和局限性，而针对各种特殊土地基处理方法各异。本手册编写原则是尽量反映国内外地基处理比较成熟、典型、有普遍意义的方法，强调实用可靠，工艺先进可行、内容全面系统，因地制宜，并使理论与实践相结合，概念清楚，资料丰富翔实，以适合现场基层技术人员的理解、掌握和应用。

本手册编写过程中，参考引用了许多科研和施工单位的专著、科研成果和施工技术总结，在此，谨向

这些同志表示衷心的感谢。

限于编者学识和经验水平，本手册可能还存在不少不足之处，恳请专家和读者提出宝贵意见和建议，并加以教正。

江正荣

2004年7月

目 录

出版说明

前言

1 概述	1
1.1 地基处理的目的和意义	1
1.2 软弱地基的分类和特性	2
1.3 地基处理方法的分类	5
1.4 地基处理方案的选择与管理	10
2 换填垫层法	16
2.1 灰土垫层	16
2.2 砂和砂石垫层	20
2.3 碎石和矿渣垫层	30
2.4 碎砖三合土垫层	35
2.5 粉煤灰垫层	37
3 夯实法	42
3.1 重锤夯实法	42

3.2	强夯法	47
3.3	强夯置换法	65
3.4	柱锤冲扩桩法	70
4	深层挤密（密实）法	76
4.1	石灰桩	76
4.2	灰土桩	78
4.3	夯实水泥土桩	87
4.4	砂石（碎石）桩	91
4.5	振冲碎石桩	98
4.6	水泥粉煤灰碎石桩	109
5	预压（排水固结）法	116
5.1	堆载预压法	116
5.2	砂井堆载预压法	120
5.3	袋装砂井堆载预压法	127
5.4	塑料排水带堆载预压法	132
5.5	真空预压法	142
5.6	降水预压法	150
6	化学（注浆）加固法	153
6.1	高压喷射注浆法	153
6.2	粉体喷射搅拌桩法	166

6.3	水泥注浆法	172
6.4	硅化注浆法	179
6.5	碱液注浆法	189
6.6	水泥土(深层)搅拌桩法	193
7	加筋法	205
7.1	土工合成材料地基	205
7.2	加筋土	212
7.3	土钉、土锚	219
8	其他地基处理法	228
8.1	锚杆静压桩法	228
8.2	树根桩	236
8.3	热加固法	242
8.4	冻结法(用于暂设工程)	244
9	局部地基处理	250
9.1	松土坑、古墓、坑穴	250
9.2	土井、砖井、废矿井	254
9.3	人防通道、障碍物、管道	258
10	异常地基处理	261
10.1	橡皮土	261

10.2	流砂	262
10.3	砂土液化	264
10.4	冲沟、落水洞	267
10.5	故河道、古湖泊	268
10.6	滑坡与塌方	269
11	山区地基处理	279
11.1	软硬地基	279
11.2	高差地基	281
11.3	溶洞	283
11.4	土洞	287
11.5	溶沟、溶槽	288
11.6	石芽、石林	291
12	特殊土地基处理	293
12.1	软土	293
12.2	湿陷性黄土	297
12.3	膨胀土	303
12.4	盐渍土	308
12.5	冻土	313
	参考文献	317

1 概 述

1.1 地基处理的目的和意义

承受建筑物上部荷载埋在地面以下部分称为基础；承受由基础传来荷载的天然土层称为地基。基础是建筑物的极其重要组成部分，基础不坚固耐久，上部结构再牢固也是不安全的；同样地，地基虽不是建筑物的组成部分，但它的好坏，也直接影响建筑物的安危和寿命。因此，当天然地基很软弱，不能满足强度、变形和稳定性要求时，则必须先经人工加固后，才能在其上建造基础，这种地基加固，称为“地基处理”（Soil Treatment, Soil Improvement）。

地基处理的目的是利用人工置换、夯实、挤密、排水、注浆、加筋和热学等方法、手段，对软弱地基土进行改造和加固，来改善地基土的剪韧性、压缩性、渗透性、振动性和特殊土地基的特性，用以提高软弱土地基的强度和稳定性，降低地基的压缩性，减少沉降和不均匀沉降，防止地震时地基土的振动液化，消除区域性土的湿陷性，膨胀性和冻胀性。

软弱土地基经过处理，不用再建深基础或设置桩基，防止了各类倒塌、下沉、倾斜等恶性事故的发生，确保了上部基础和建筑结构的使用安全和耐久性，具有巨大的技术和经济意义。

1.2 软弱地基的分类和特性

根据《建筑地基基础设计规范》（GB50007—2002）7.1.1条规定，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。在建筑地基的局部范围内有高压缩性土层时，也应按局部软弱土层考虑。以下简述这种软弱土的特性：

1. 淤泥及淤泥质土

它是在静水或缓慢流水环境中沉积的、经生物化学作用形成的、天然含水量高的、承载力（抗剪强度）低的、软塑到流塑状态的饱和粘性土。其含水量一般大于液限 W_L （40%~90%）；天然孔隙比一般大于1.0或等于1.0；当土由生物化学作用形成，并含有有机质，其天然孔隙比 e 大于1.5时称为淤泥；天然孔隙比小于1.5而大于1.0时称为淤泥质土，淤泥和淤泥质土总称软土（次粘土）。广泛分布在我国东南沿海，如天津、上海、杭州、宁波、温州、福州、

厦门、广州等地区及内陆、湖泊、平原和山区。其工程特性主要是具有触变性、高压缩性、低透水性、不均匀性以及流变性等。在荷载作用下，地基承载能力低，地基沉降变形大，不均匀沉降也大，而且沉降稳定时间比较长。

2. 冲填土

系由水力冲填泥砂沉积形成的填土。常见于沿海地带及江河两岸。冲填土的特性与其颗粒组成有关，此类土含水量较大，压缩性较高，强度低，具有软土性质。它的工程性质随土的颗粒组成、均匀性和排水固结条件不同而异，当含砂量较多时，其性质基本上和粉细砂相同或类似，就不属于软弱土；当粘土颗粒含量较多时，往往欠固结，其强度和压缩性指标都比天然沉积土差，则应进行地基处理。

3. 杂填土

系含有大量建筑垃圾、工业废料及生活垃圾等杂物的填土。常见于一些较古老城市和工矿区。它的成因没有规律，成分复杂，分布极不均匀，厚度变化大，有机质含量较多，性质也不相同，且无规律性。它的主要特性是土质结构比较疏散，均匀性差，变形大，承载力低，压缩性高，有浸水湿陷性，就是在同一建筑场地的不同位置，地基承载力和压缩性也有较大差异，一般需经处理才能作建筑物地基。对有机质

含量较多的生活垃圾和对基础有浸蚀性的工业废料等杂填土地基，未经处理，不宜作持力层。

4. 其他高压缩性土

饱和的松散粉细砂（含部分粉质粘土），也属于软弱地基的范畴。当受到机械振动或地震荷载重复作用时，将产生液化现象；基坑开挖时会产生流砂或管涌，并且由于建筑物的荷重及地下水的下降，也会促使砂土下沉。其他特殊土如湿陷性黄土、膨胀土、盐渍土、红粘土以及季节性冻土等特殊土的不良地基现象，也属于需要地基处理的软弱地基范畴，其分类和特性参见“12 特殊土地基处理”一章。

对建在软弱地基上的建筑物，在工程设计和地基处理方案确定前，应进行工程地质和水文地质勘察，查明软弱土层的组成、地质成因、分布范围、均匀性、软弱土层厚度、持力层位置及状况以及地基土的物理和力学性质等。对冲填土还应了解均匀性和排水固结条件；对杂填土尚应查明堆载历史年代，明确自重下稳定性和湿陷性等基本因素；对其他特殊土应查明其特征、工程性质、成层情况等，以作为工程设计和选用地基处理的依据。

对软弱地基处理方案设计时，应考虑上部结构和地基的共同作用，桩土复合地基的作用，对建筑体型、荷载情况、结构类型和地质条件进行综合分析，

确定合理的建筑措施、结构措施和地基处理方法，以确保建筑物的使用安全。

1.3 地基处理方法的分类

地基处理方法多种多样。如按时效可分为临时处理和永久处理；按处理深度又分为浅层处理和深层处理；按土性对象可分为砂性土处理和粘性土处理、饱和土处理与非饱和土处理；按地基处理的原理及作用可分为换土垫层处理、深层密实处理、排水固结处理、化学加固处理、加筋处理、热学处理等，一般多采用后一种分类方法，不仅体现了各种处理方法的特点，同时反映了它的应用领域。表 1-1 为常用地基处理方法的分类及适用范围，可供参考。

表 1-1 常用地基处理方法的分类及适用范围

分类	处理方法	原理及作用	适用范围
换填垫层法	机械碾压法	挖除浅层软弱土或不良土，分层碾压或夯实土，按回填的材料可分为砂垫层、碎石垫层、粉煤灰垫层、矿渣垫层、灰土垫层、二灰 ^① 垫层和碎砖三合土垫层等。它可提高持力层的承载力，减少	常用于基坑面积宽大和开挖土方量较大的回填土方工程，一般适用于处理浅层软弱地基、湿陷性黄土地基、膨胀土地基、季节性冻土地基、素填土和杂填土地基

(续)

分类	处理方法	原理及作用	适用范围
换填垫层法	重锤夯实效法	沉降量, 消除或部分消除土的湿陷性和胀缩性, 防止土的冻胀作用以及改善土的抗液化性, 提高地基的稳定性	一般适用于地下水位以上稍湿的粘性土、砂土、湿陷性黄土、杂填土以及分层填土地基
	平板振动法		适用于处理无粘性土或粘粒含量少和透水性好的杂填土地基
	强夯挤淤(置换)法	采用边强夯、边填块石、砂砾、碎石、边挤淤的方法, 在地基中形成碎石墩体, 以提高地基承载力和减小沉降	适用于厚度较小的高饱和度的粉土、淤泥和淤泥质土地基。应通过现场试验才能确定其适用性
深层挤密(密实)法	强夯法系利用强大的夯击能, 迫使深层土液化和排水固结压密, 以提高地基承载力, 降低其压缩性		适用于碎石土、砂土、素填土、杂填土、低饱和度的粉土和粘性土、湿陷性黄土。对淤泥质土经试验证明施工有效时方可使用