



世纪高等教育土木工程系列规划教材

地基处理

贺建清 万 文 主编
张家生 主审



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TU472/30

2008

21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

地 基 处 理

主 编	贺建清	万 文	
副主编	张学明	段仲沅	陈永贵
参 编	徐望国	张志军	江学良
	曾 娟	叶智英	
主 审	张家生		

机 械 工 业 出 版 社

本书是根据教育部土木工程专业的课程设置指导意见及 JGJ 79—2002《建筑地基处理技术规范》编写而成,是普通高等院校土木工程专业的专业课教材,对目前我国使用的各种地基处理方法的适用范围、加固机理、设计计算、施工工艺及质量检验方法等进行了较为全面系统的阐述。主要内容包括:绪论、换填垫层法、预压法、强夯法和强夯置换法、挤密桩法、柱锤冲扩桩法、浆液固化法、加筋土技术,每种地基处理方法都编写了相应的工程实例。本书重视理论联系实际,并力求做到叙述简明、文字简练,既能满足普通高等院校的教学要求,又能供从事地基处理工程设计和施工的专业技术人员及科研人员自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

地基处理/贺建清, 万文主编. —北京: 机械工业出版社, 2008. 6

(21 世纪高等教育土木工程系列规划教材)

ISBN 978-7-111-24112-6

I. 地... II. ①贺... ②万... III. 地基处理—高等学校—教材
IV. TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 070363 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: 马军平 版式设计: 霍永明 责任校对: 张玉琴

封面设计: 张 静 责任印制: 李 妍

北京中兴印刷有限公司印刷

2008 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm • 16.25 印张 • 315 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-24112-6

定价: 26.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379711

封面无防伪标均为盗版

序

随着 21 世纪国家建设对专业人才的需求,我国工程专门人才培养模式正在向宽口径方向转变,现行的土木工程专业包括建筑工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设等 8 个专业的内容。经过几年的教学改革和教学实践,组织编写一套能真正体现专业大融合、大土木的教材的时机已日臻成熟。

迄今为止,我国高等教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名在第 36 位,与我国科技人员总数排名第一的现状形成了极大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员,特别是工程应用型技术人才供给不足。

科学在于探索客观世界中存在的客观规律,它强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学理论和技术手段去改造客观世界的客观活动,所以它强调综合,强调实用性,强调方案的优选。这就要求我们对工程应用型人才和科学研究型人才的培养实施不同的方案,采用不同的教学模式、使用不同的教材。

机械工业出版社为适应高素质、强能力的工程应用型人才培养的需要而组织编写了本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,结合大土木的专业建设需要,富有特色、有利于应用型人才的培养。本套系列教材的编写原则是:

- 1) 加强基础,确保后劲。在内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后发展具有较强的后劲。

- 2) 突出特色,强化应用。本套系列教材的内容、结构遵循“知识新、结构新、重应用”的方针。教材内容的要求概括为“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通“大土木”教学内容的基础上,挑选出最基本的内容、方法及典型应用实例;“新”指在将本学科前沿的新技术、新成果、新应用、新标准、新规范纳入教学内容;“广”指在保证本学科教学基本要求前提下,引入与相邻及交叉学科

的有关基础知识；“用”指注重基础理论与工程实践的融会贯通，特别是注重对工程实例的分析能力的培养。

3) 抓住重点，合理配套。以土木工程教育的专业基础课、专业课为重点，做好实践教材的同步建设，做好与之配套的电子课件的建设。

我们相信，本套系列教材的出版，对我国土木工程专业教学质量的提高和应用型人才的培养，必将产生积极作用，为我国经济建设和社会发展作出贡献。

江見鯨

前 言

本书是根据教育部土木工程专业的课程设置指导意见及 JGJ 79—2002《建筑地基处理技术规范》编写而成,是普通高等院校土木工程专业的专业课教材,对目前我国使用的各种地基处理方法的适用范围、加固机理、设计计算、施工工艺及质量检验方法等进行了较为全面系统的阐述。

在本书编写过程中,编写人员认真听取了部分高等院校对近年来本课程的教学及教材的意见,汲取了多年来在教学改革和实践中的经验,并参考了近年来出版的有关教材和文献资料,以国家最新规范、技术规程为主线,注重教材的科学性、实用性和创新性,力图体现学科发展的新水平,反映国内外最新研究成果,在保证编写内容全面、系统的基础上突出重点,重视理论联系实际,并力求做到叙述简明、文字简练,既能满足普通高等院校的教学要求,又能供从事地基处理工程设计和施工的专业技术人员及科研人员自学和参考。

本书采用法定的计量单位,所涉及相关规范均采用目前的最新规范。为便于学习,每章末都引用了工程实例,并附有思考题和习题,书末附有主要参考文献。

全书共 8 章,第 1 章由湖南科技大学万文编写,第 3、4、6 章由湖南科技大学贺建清、徐望国编写,第 2 章由南华大学段仲沅编写,第 5 章由南华大学张志军和湖南科技大学贺建清编写,第 7 章由长沙理工大学陈永贵编写,第 8 章由中南大学张学明和湖南城市学院江学良编写,湖南科技大学曾娟、浙江广厦建筑职业技术学院叶智英参与了部分章节的编写和校稿,全书由贺建清完成统稿和修改工作。

中南大学博士生导师张家生教授审阅了本书,提出了许多宝贵的意见和建议,在此谨表谢意。

由于水平有限,书中难免有不妥或疏漏之处,恳请同行、专家和各位读者不吝指正。

编 者

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 地基处理技术发展概况	1
1.2 地基处理的对象及目的	3
1.2.1 地基处理的对象及其特性	3
1.2.2 地基处理的目的	4
1.3 地基处理方法分类及其使用范围	5
1.4 地基处理方法选用原则及设计程序	8
1.4.1 地基处理方法的选用原则	8
1.4.2 地基处理设计、施工程序	9
思考题与习题	10
第 2 章 换填垫层法	11
2.1 概述	11
2.1.1 垫层法	11
2.1.2 褥垫法	12
2.2 换填垫层设计	12
2.2.1 砂(砂石、碎石、粉煤灰、矿渣)垫层设计	12
2.2.2 素土和灰土垫层设计	17
2.2.3 褥垫层设计	18
2.2.4 垫层材料选用	19
2.3 垫层碾压施工	21
2.3.1 压实机理	21
2.3.2 压实方法	23
2.3.3 施工要点	25
2.4 质量检验	26
2.5 换填垫层法处理地基工程实例	27
思考题与习题	28
第 3 章 预压法	29
3.1 概述	29
3.2 预压法加固机理	30

3.2.1 堆载预压加固机理	31
3.2.2 真空预压加固机理	32
3.2.3 降水预压加固机理	33
3.2.4 电渗预压加固机理	34
3.3 预压法的设计与计算	34
3.3.1 堆载预压法设计计算	34
3.3.2 真空预压法设计计算	52
3.4 预压法施工	53
3.4.1 水平排水砂垫层的施工	53
3.4.2 竖向排水体施工	54
3.4.3 荷载预压	58
3.5 施工质量监督与检验	61
3.5.1 施工质量监督	61
3.5.2 施工质量检验	63
3.6 工程实例	63
3.6.1 堆载预压法加固软土地基工程实例	63
3.6.2 真空预压法加固软土地基工程实例	66
思考题与习题	69
第4章 强夯法和强夯置换法	71
4.1 概述	71
4.2 加固机理	72
4.2.1 动力密实	72
4.2.2 动力固结	73
4.2.3 震动波压密	75
4.2.4 动力置换	75
4.3 设计	76
4.3.1 强夯法设计	76
4.3.2 强夯置换法设计	80
4.4 施工	81
4.4.1 施工机械	81
4.4.2 施工要点	82
4.5 质量检查	83
4.6 工程实例	83
4.6.1 强夯工程实例	83
4.6.2 强夯置换工程实例	87

思考题与习题	89
第 5 章 挤密桩法	90
5.1 砂石桩法	90
5.1.1 概述	90
5.1.2 加固机理	91
5.1.3 设计计算	93
5.1.4 施工	99
5.1.5 单桩和复合地基载荷试验	105
5.1.6 质量检验	107
5.1.7 砂石桩加固地基工程实例	107
5.2 石灰桩法	111
5.2.1 概述	111
5.2.2 加固机理	113
5.2.3 设计计算	115
5.2.4 施工	116
5.2.5 质量检验	117
5.3 土挤密桩法和灰土挤密桩法	118
5.3.1 概述	118
5.3.2 加固机理	118
5.3.3 设计计算	120
5.3.4 施工	122
5.3.5 质量检验	124
5.4 夯实水泥土桩法	124
5.4.1 概述	124
5.4.2 加固机理	125
5.4.3 设计计算	126
5.4.4 施工	128
5.4.5 质量检验	129
5.4.6 夯实水泥土桩法处理地基工程实例	129
5.5 水泥粉煤灰碎石桩法	133
5.5.1 概述	133
5.5.2 加固机理	134
5.5.3 设计计算	136
5.5.4 施工	138
5.5.5 质量检验	139

5.5.6 水泥粉煤灰碎石桩法加固地基工程实例	139
思考题与习题	142
第6章 柱锤冲扩桩法	143
6.1 概述	143
6.2 加固机理	143
6.3 设计	145
6.4 施工	147
6.5 质量检验	148
6.6 柱锤冲扩桩法加固地基工程实例	149
思考题与习题	153
第7章 浆液固化法	154
7.1 灌浆法	154
7.1.1 概述	154
7.1.2 加固机理	155
7.1.3 灌浆材料及选用原则	159
7.1.4 灌浆设计	162
7.1.5 施工方法	172
7.1.6 灌浆质量检验	177
7.2 水泥土搅拌法	178
7.2.1 概述	178
7.2.2 加固机理	180
7.2.3 水泥土的物理力学特性	181
7.2.4 设计计算	185
7.2.5 施工方法	191
7.2.6 质量检验	194
7.2.7 工程实例	194
7.3 高压喷射注浆法	199
7.3.1 概述	199
7.3.2 加固机理	206
7.3.3 设计计算	212
7.3.4 施工	217
7.3.5 质量检验	221
7.3.6 工程实例	221
思考题与习题	223

第8章 加筋土技术	225
8.1 概述	225
8.2 土工合成材料分类与性能指标	226
8.2.1 土工合成材料分类	226
8.2.2 土工合成材料的性能指标	227
8.2.3 土工合成材料的允许抗拉强度	227
8.3 土工合成材料主要功能	228
8.3.1 加筋功能	228
8.3.2 过滤和排水功能	228
8.3.3 隔离功能	230
8.3.4 防渗功能	231
8.3.5 防护功能	231
8.4 加筋土的加固机理	232
8.4.1 加筋土的摩擦原理解释	232
8.4.2 加筋土准粘聚力原理解释	233
8.5 加筋地基设计	234
8.5.1 加筋地基简述	234
8.5.2 加筋地基设计原则	235
8.5.3 条形浅基础加筋土地基	236
8.5.4 土堤的加筋土地基	239
8.6 加筋地基施工要点	242
8.7 加筋复合垫层处理地基工程实例	243
思考题与习题	247
参考文献	248

第 1 章

绪 论

1.1 地基处理技术发展概况

地基处理是一门既古老又年轻的学科,早在 3000 年前我国先人就采用竹子、木头、麦秸来加固地基,但地基处理技术真正得到迅猛发展还是在近 60 年,特别是在近 20 年间。如在 20 世纪 60 年代中期,从如何提高土的抗拉强度这一思路中,发展了土的“加筋法”;从有利于提高土的排水固结效果这一基本观点出发,发展了土工聚合物、砂井预压和塑料排水带;从如何更好地对地基进行深层密实考虑,采用了加大击实功的“强夯法”和“振动水冲法”。地基处理技术最新发展反映在地基处理机械、材料、地基处理设计计算理论、施工工艺、现场监测技术以及地基处理新方法的不断发展和多种地基处理方法的综合应用等各个方面。

近年来地基处理机械品种增加,性能提高,逐步向系列化、标准化发展。例如,深层搅拌机,除以前生产的单轴深层搅拌机和固定双轴搅拌机、浆液喷射和粉体喷射深层搅拌机外,研制成功了可变双轴深层搅拌机、多头深层搅拌机和能够同时喷射浆液和粉体的深层搅拌机。无论是搅拌深度还是成桩直径均在不断扩大,海上深层搅拌机也已投入使用。高压喷射注浆机械喷射压力的提高,增加了对地层的冲切搅拌能力;水平旋喷机械的成功应用,使高压注浆法的应用范围进一步扩大,继单管法、双管法、三管法及多管法后又研制出了新双管法。应用于排水固结法的塑料排水带插带机的出现大大提高了工作效率。干法振动成孔器研制成功,使干法振动碎石桩技术得到应用。地基处理机械的迅速发展,使地基处理能力得到较大提高。

地基处理材料的发展也促进了地基处理水平的提高。新材料的应用,不仅使一些原有的地基处理方法效能得以提高,而且产生了一些新的地基处理方法。土工合成加筋材料的发展促进了加筋土法的发展。轻质土工合成材料 EPS 作为填土材料形成 EPS 超轻质填土法。灌浆材料(如超细水泥、粉煤灰水泥、硅粉水

泥等水泥系浆材和化学浆材)的发展有效地扩大了浆材法的应用范围,满足了工程需要。近年来,地基处理还同工业废料的利用结合起来,粉煤灰垫层、石灰粉煤灰桩复合地基、钢渣桩复合地基、渣土桩复合地基等的应用取得了较好的社会效益和经济效益。

地基处理的工程实践促进了地基处理计算理论的发展。因为复合地基在地基处理工程中的应用,导致了复合地基承载力和沉降计算理论的产生。除复合地基理论外,在强夯法加固地基机理、强夯加固深度、砂井法非理想井计算理论、真空预压法计算理论等的研究上取得了不少新的研究成果。同时,地基处理理论的发展又反过来进一步推动地基处理技术的发展。

各种地基处理方法的施工工艺也得到不断的改进和完善,不仅有效地保证和提高了施工质量,提高了工效,而且扩大了应用范围。真空预压法施工工艺的改进使该技术应用得到推广,高压喷射注浆工艺的改进使其应用范围不断扩大,石灰桩施工工艺的改进使石灰桩法走向成熟,长螺旋钻孔工艺使 CFG 桩复合地基法在全国得到大面积推广,经济效益和社会效益显著。

地基处理工程质量监测受到重视,监测手段越来越先进,监测精度越来越高。信息化施工技术的逐步实施,有效地保证了施工质量,取得了较好的经济效益。

近年来,在工程实践中还涌现了许多新的地基处理方法,如水泥土搅拌桩桩体中插入 H 型钢或钢筋笼等加筋材料形成刚性桩;碎石桩中加入适量的水泥或粉煤灰等粘结材料形成柔性的 CFG 桩;以强夯法为基础,演化出“孔内深层强夯法”、“孔内深层强夯渣土(或混凝土)桩”等。同时,地基处理技术的发展还表现在多种地基处理方法互相嫁接、移植,互相交叉渗透,从而又形成了许多新技术、新工艺。如真空预压法和堆载预压的综合应用克服了真空预压荷载不足 80kPa 的缺点,扩大了其应用范围;高压喷射注浆法与灌浆法相结合提高了灌浆法的加固效果。

目前地基处理已成为土力学工程领域的一个主要分支学科,国际土力学与岩土工程协会下设有专门的地基处理学术委员会。中国土力学与岩土工程学会于 1984 年成立了地基处理学术委员会,迄今先后召开了共九届全国地基处理学术讨论会,并组织编著了《地基处理手册》;同时出版了《地基处理》杂志,提供了交流和推广地基处理新技术的园地。建设部先后组织编写了《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—1991)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002);交通部颁布了《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》(JTJ 017—1996)。由此可见,地基处理技术的发展和应用在国内外方兴未艾。

1.2 地基处理的对象及目的

地基处理是指为提高地基承载力, 改变其变形性质或渗透性而采取的人工处理地基的方法。欧美国家称地基处理, 亦有称地基加固。

1.2.1 地基处理的对象及其特性

地基处理的对象是软弱地基和特殊土地基。

1. 软弱地基

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 规定, 软弱地基指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层构成的地基。

(1) 软土 软土是指天然孔隙比大于或等于 1.0, 且天然含水量大于液限的细粒土, 包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。它是在静水或缓慢流水环境中沉积, 经生物化学作用形成的。

软土的特点是: 天然含水量高, 一般为 49%~90%, 有的可达 200%; 孔隙比大, 在 1.0~2.0 之间变化, 个别可达 5.8; 抗剪强度低, 不排水抗剪强度约 5~25kPa; 压缩系数高, 通常在 $0.5 \sim 2.0 \text{ MPa}^{-1}$ 间变化, 最大可达 4.5 MPa^{-1} ; 渗透性差, 其渗透系数一般小于 10^{-5} mm/s ; 软土地基承载力低, 在荷载作用下, 地基沉降变形大, 不均匀沉降也大, 而且由于软土具有流变性, 除了主固结变形外, 还存在着次固结变形, 土体长期处于变形中, 沉降稳定历时较长, 遇到比较深厚的软土层, 建筑物基础的沉降稳定往往需要数年乃至数十年才能完成。

软土地基是在工程建设中遇到最多需要处理的软弱地基, 它们广泛分布在我国沿海、内地河流两岸及湖泊地区。

(2) 冲填土 冲填土是指整治和疏浚江河航道时, 用挖泥船或泥浆泵将泥砂夹带大量水分吹到江河两岸而形成的沉积土, 南方地区称吹填土。冲填土的成分和分布规律与冲填时的泥砂来源及水利条件有关。若充填物以粘性土为主, 吹到两岸的土中含有大量水分, 且难于排出, 故它在形成初期常处于流动状态, 这类土属于强度较低和压缩性较高的次固结土; 若冲填物是砂或其他粗颗粒土, 则因其性质与粉细砂类似而不属于软弱土范畴。

(3) 杂填土 杂填土是指人类活动而任意堆填的建筑垃圾、工业废料和生活垃圾。杂填土的成因很不规律, 成分复杂, 分布极不均匀, 结构疏松。其主要特点是: 强度低、压缩性高、均匀性差。某些杂填土内因含有腐殖质、亲水及水溶性物质, 一般还具有浸水湿陷性。

2. 特殊土地基

特殊土地基带有地区性特点, 它包括由湿陷性黄土、膨胀土、盐渍土和冻土

等构成的地基。

(1) 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和附加应力作用下,遇水浸湿后土的结构迅速破坏,并发生显著附加下沉,其强度也迅速降低的黄土。因黄土湿陷而引起的建筑物不均匀沉降是造成黄土地区工程事故的主要原因。

黄土在我国特别发育,地层多、厚度大,广泛分布在甘肃、陕西、山西大部分地区,以及河南、河北、山东、宁夏、辽宁、新疆等部分地区。当黄土作为建(构)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进行地基处理以及如何处理。

(2) 膨胀土 膨胀土是指粘粒成分主要由亲水性矿物组成的粘性土,在环境温度和湿度变化时会产生强烈的胀缩变形。利用膨胀土作为建(构)筑物地基时,如果没有采取必要的措施进行地基处理,膨胀土饱水膨胀,失水收缩,常会给建(构)筑物造成危害。

膨胀土在我国分布范围很广,广西、云南、湖北、河南、安徽、四川、河北、山东、山西、江苏、内蒙古、贵州和广东等地均有不同程度的分布。

(3) 盐渍土 盐渍土是指土中含盐量超过一定数量的土。盐渍土地基浸水后,因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体积膨胀。盐渍土中的盐还会导致建(构)筑物基础材料的腐蚀和破坏。我国盐渍土主要分布在西北干旱地区地势低洼的盆地和平原中,在滨海地区也有分布。

(4) 季节性冻土 季节性冻土是指冬季冻结而夏季融化的土层。如果基底下有季节性冻土层,将会产生难以预估的冻胀和融陷变形,影响建筑物的正常使用,甚至导致破坏。

1.2.2 地基处理的目的

地基是指支承基础的土体或岩体。建(构)筑物地基一般存在以下四个方面的问题:

(1) 强度和稳定性问题 当地基的抗剪强度不足以支承上部结构的自重及外荷载时,地基就会产生局部或整体剪切破坏。

(2) 沉降变形问题 当地基在上部结构的自重及外荷载作用下产生过大的变形时,会影响结构物的正常使用;超过建筑物所能允许的不均匀沉降时,结构可能开裂破坏。

(3) 渗透性问题 地基的渗漏量或水力坡降超过允许值时,会发生水量损失,或因潜蚀和管涌导致建(构)筑物失事。

(4) 液化问题 在如机器振动荷载、交通荷载、爆破冲击荷载、海浪作用等

动力荷载作用下,引起饱和松散粉细砂或部分粉土产生液化,使土体失去抗剪强度,产生近似液体特性的现象,从而导致地基失稳和震陷。

当建(构)筑物的地基存在上述问题时,必须进行地基处理,以保证建(构)筑物的安全与正常使用。地基处理的目的是利用各种地基处理方法对地基土进行加固,用以改良地基土的工程特性,以达到如下目的。

(1) 提高地基的抗剪强度,增加其稳定性 地基的剪切破坏表现在:建(构)筑物的地基承载力不够;偏心荷载及侧向土压力的作用使建(构)筑物失稳;由于地面堆载或建(构)筑物荷载使邻近地基产生隆起;土方开挖时边坡失稳;基坑开挖时坑底隆起。地基的剪切破坏反映了地基抗剪强度的不足,因此,为了防止剪切破坏,就需要采取一定的措施以增加地基土的抗剪强度。

(2) 降低地基土的压缩性,减少地基的沉降变形 地基土的压缩性表现在:建(构)筑物的沉降和差异沉降较大;地面堆载或建(构)筑荷载使邻近地基产生固结沉降;基坑开挖引起邻近地基沉降;由于降水,地基产生固结沉降。地基的压缩性反映在地基土的压缩模量指标的大小,因此需要采取措施以提高地基土的压缩模量,从而减少地基的沉降和不均匀沉降。

(3) 改善地基土的渗透特性,减少地基渗漏或加强其渗透稳定 地基土的渗透性表现在:堤坝等基础产生的地基渗漏;土工建(构)筑物及地基由于渗流作用而出现土层剥落、地面隆起、管涌、流砂等渗透破坏或渗透变形现象。以上都是在地下水的运动过程中所发生的问题。因此,必须采取措施改变渗透破坏或渗透变形产生所需的几何条件和水力条件。

(4) 改善地基土的动力特性,提高地基的抗振性能 地基土的动力特性表现在:地震时饱和松散粉细砂或部分粉土将产生液化;交通荷载反复作用使路基产生工后沉降;机器振动或打桩等原因引起邻近地基振动下沉。为此,需要采取措施防止地基液化并改善其不良特性,以提高地基的抗振性能。

(5) 改善特殊土地基的不良特性,满足工程设计要求 主要是指消除特殊土地基的不良特性,如黄土的湿陷性和膨胀土的胀缩特性等。

1.3 地基处理方法分类及其使用范围

地基处理的分类方法多种多样,按时间可分为临时处理和永久处理;按处理深度分为浅层处理和深层处理;按处理土性对象分为砂性土处理和粘性土处理,饱和土处理和非饱和土处理;也可按地基处理的加固机理进行分类。因为现有的地基处理方法很多,新的地基处理方法还在不断发展,要对各种地基处理方法进行精确分类是困难的。常见的分类方法主要是按照地基处理的加固机理进行分类,见表1-1,它体现了各种地基处理方法的特点。

表 1-1 地基处理方法分类及其适用范围

类 别	方 法	简 要 原 理	适 用 范 围
置换	换土垫层法	将基底下一定深度范围内的软弱土层挖去, 换填上强度较大的低压缩性的坚硬、较粗粒径的材料。垫层能有效扩散基底压力, 减少沉降	浅层软弱地基及不均匀地基的处理
	挤淤置换法	通过抛石或夯击回填碎石置换淤泥达到加固地基的目的, 也有采用爆破挤淤置换	厚度较小的淤泥地基
	褥垫法	在基底一定范围内, 将局部压缩性较低的岩石凿去, 换填上压缩性较大的材料, 然后分层夯实形成的持力层作为基础的部分持力层, 使基础整个持力层的变形相互协调, 以减少不均匀沉降	山区不均匀岩土地基
	砂石桩置换	利用振冲法、沉管法等其他方法在饱和粘土地基中成孔, 并将碎石、砂或砂石挤压入已成的孔中, 形成砂石桩, 砂石桩置换部分土体, 形成复合地基, 以提高地基承载力, 减少沉降	松散砂土、粉土、粘性土、素填土、杂填土等地基以及变形控制要求不严的饱和粘土地基
	石灰桩法	通过机械或人工成孔, 在软弱地基中填入生石灰块或生石灰块加其他掺合料, 通过石灰的吸水膨胀、放热以及离子交换作用改善桩间土的物理力学性质, 并形成石灰桩复合地基, 提高地基承载力, 减少沉降	饱和粘性土、淤泥、淤泥质土、素填土和杂填土地基
	气泡混合轻质料填料法	气泡混合轻质料的重量为 $5 \sim 12 \text{ kN/m}^3$, 具有较好的强度和压缩性能, 用作填料可有效减少地基地上的荷载, 也可减少作用在挡土结构上的侧压力	软弱地基上的填方工程
	EPS 超轻质料填土法	发泡聚苯乙烯 (EPS) 密度只有土的 $1/100 \sim 1/50$, 并具有较好的强度和压缩性能, 用作填料可有效减少地基地上的荷载, 也可减少作用在挡土结构上的侧压力, 需要时可置换部分地基土, 以达到更好效果	软弱地基上的填方工程
振挤 密实	振冲密实法	一方面依靠振冲器的振动使饱和砂层液化, 砂颗粒重新排列, 孔隙减少, 另一方面依靠振冲器的水平振动力, 加回填料使砂层挤密, 从而达到提高地基承载力, 减少沉降, 并提高地基土体抗液化的能力	粘粒含量小于 $10\%^\text{①}$ 的松散砂性土地基
	爆破挤密法	利用在爆破中产生的挤压力和振动力使地基土密实, 以提高地基土体的抗剪强度, 达到提高地基承载力、减少沉降的目的	饱和净砂、非饱和但经灌水饱和的砂、粉土、湿陷性黄土地基
	土 (灰土) 桩法	利用横向挤压设备成孔, 使桩间土得以挤密, 用素土或灰土填入桩孔内分层夯实形成土桩或灰土桩, 由挤密的桩间土和密实的土桩或灰土桩形成复合地基	地下水位以上的湿陷性黄土、杂填土、素填土等地基