

高校土木工程专业教材

GAOXIAOTUMUGONGCHENGZHUANYEJIAOCAI

地基处理 (第二版)

同济大学 叶书麟 编
叶观宝

D I J I C H U L I

中国建筑工业出版社

高校土木工程专业教材

地基处理

(第二版)

同济大学 叶书麟 编
叶观宝

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地基处理/同济大学叶书麟等编. —2 版. —北京:
中国建筑工业出版社, 2004
高校土木工程专业教材
ISBN 7-112-06545-3

I. 地... II. 同... 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 (2004) 第 038209 号

高校土木工程专业教材

地 基 处 理

(第二版)

同济大学 叶书麟 编
叶观宝

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 13¼ 字数: 322 千字

2004 年 7 月第二版 2005 年 1 月第九次印刷

印数: 22,501—26,500 册 定价: 19.00 元

ISBN 7 - 112 - 06545 - 3

TU · 5715 (12499)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书详细介绍了当前国内外地基处理的新技术,如砂(或砂石、碎石)垫层、粉煤灰垫层、矿渣垫层、素土(或灰土)垫层、加筋垫层及聚苯乙烯板块等,强夯、碎(砂)石桩、石灰桩、土(或灰土)桩、水泥粉煤灰碎石桩、堆载预压、真空预压、灌浆、高压喷射注浆、水泥土搅拌桩、加筋土、土工合成材料、树根桩等,并阐明以上各种地基处理方法的加固机理、设计、施工和质量检验等内容。各章末附有各种地基处理方法的典型工程实例,还附有思考题与习题,以便复习和自学。

本书可作为土木工程专业教材,也可供勘察、设计、施工技术人员参考。

* * *

责任编辑:王 跃 吉万旺

责任设计:崔兰萍

责任校对:刘玉英

第 二 版 前 言

自第一版《地基处理》问世以来,已有7年之久。在这7年中,我国经济建设突飞猛进,因而如何选择既满足工程要求,又节省建设资金的地基处理方法,成为广大工程技术人员所关注的重大技术问题。

本书再版编写的原则是:

1. 当前我国再版的《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)已正式颁布。为此,本书编写时是根据该规范技术要求和符号进行编写的,以使读者在参考和应用其他技术资料时较为方便。

2. 考虑土工合成材料这一领域在全国各地蓬勃兴起,又鉴于我国颁布了《土工合成材料应用技术规范》(GB 50290—98),本书对土工合成材料这一新内容结合新规范作了修改和加深;另外,在加筋一章内又增加了树根桩这一节新内容,使读者能了解树根桩这一新技术在国内外的应用和进展。

3. 自第一版出版后,在我国很多大专院校将它作为必修课、选修课或研究生教材,也作为科技人员的培训教材。为此,编写过程中更为着重阐明加固机理、对各种地基处理方法的相互比较和综合分析。

本书共分六章,第一、二、六章由叶书麟编写;第三、四、五章由叶观宝编写。

本书编写过程中引用了很多单位的科研成果和技术总结,再次谨向这些单位和原作者致以衷心的感谢。限于作者水平,谬误之处,敬请读者批评指正。

叶书麟 叶观宝

2004年4月

第一版前言

我国地域辽阔、幅员广大、自然地理环境不同、土质各异、地基条件区域性较强；随着当前经济建设的蓬勃发展，不仅事先要选择在地质条件良好的场地从事建设，而且有时也不得不在地质条件不好的地方进行修建，因此就需对天然的软弱地基进行处理。

地基处理的主要目的是指提高软弱地基的强度、保证地基的稳定；降低软弱地基的压缩性、减少基础的沉降和不均匀沉降；防止地震时地基土的振动液化；消除特殊土的湿陷性、胀缩性和冻胀性。

目前国内外地基处理方法众多，很多方法还在不断发展和完善中。每一种地基处理方法都有它的适用范围和局限性，因而选用某一种地基处理方法时，一定要根据地基土质条件、工程要求、工期、造价、料源、施工机械设备条件等因素综合分析后确定。

本教材是根据建筑工程专业教学计划进行编写的；结合过去的地下建筑工程、工程地质和水文地质、岩土工程三专业所需要的内容，自1978年来在以上三专业试用铅印教材后，于1988年8月正式出版《地基处理》（建筑施工工程师技术丛书）（中国建筑工业出版社）。此后，积极搜集资料，并广泛征求多数院校的意见，吸收国内外比较成熟的新内容，以适应我国基本建设中现代化的需要和教学需要，改编成本教材。

本教材的编写有以下特点：

1. 当前我国《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79—91）已正式颁布。为此，本书编写时是根据该规范要求 and 符号进行编写的，以使学员在今后工作中参考使用时较为方便；

2. 鉴于当前地基处理技术发展情况，为反映国内外最新技术成果，对原《地基处理》内各章进行了补充和加深，力求使本教材全面反映先进性和完整性；

3. 本书遵照全国土力学基础工程学会下“土力学基础工程名词委员会”编制的《土力学及基础工程名词》（汉英及英汉对照）（中国建筑工业出版社出版，1983）一书统一全书专业技术名词，有的地基处理技术名词还注出英语原文，并简要阐明其术语定义。

4. 本书各章节安排乃按地基处理的作用机理进行分章列节，作者认为可体现各种地基方法的主要特点和将某些地基处理方法的共性归纳入同一章内，以示科学性。但考虑学员阅读各章节时保持各章节的独立性，因而个别章节内容上不免有极少部分的搭接。

5. 鉴于《地基处理》问世后，除了有很多大专院校将它作为必修课和选修课教材外，还有作为成人教学的培训教材。因此，编写过程中根据作者对本门“地基处理”教学的多年实践经验，对各种地基处理方法阐明其加固机理，设计、施工和质量检验，每章尽可能结合实践附以工程实例、算例、思考题与习题，并对各种地基处理方法进行比较和综合考虑。

本书共分六章，第一、二、六章由叶书麟编写；第三、四、五章由叶观宝编写，全书由叶书麟担任主编，由赵志缙教授担任主审。

本书编写过程中引用了许多科研单位和工程单位的一些科研成果和技术总结，谨向这些单位和同志致以衷心的感谢。

限于作者水平，本书不足和错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1997 年 1 月

目 录

第一章 绪言	1
第一节 地基处理的定义	1
第二节 地基处理的对象及其特性	1
第三节 地基处理的目的	3
第四节 地基处理方法的分类	4
第五节 设计前调查研究和方案选择	7
第六节 地基处理效果检验	9
第七节 地基处理的监测和监理	10
第八节 地基处理技术的国内外发展情况	10
思考题与习题	11
第二章 换填	12
第一节 垫层分类和适用范围	12
第二节 勘察和调查	13
第三节 土的压实机理	13
第四节 砂(砂石、碎石)垫层	15
第五节 粉煤灰垫层	19
第六节 矿渣垫层	23
第七节 土(素土)和灰土垫层	25
第八节 其他垫层	26
思考题与习题	28
第三章 深层密实	29
第一节 强夯和强夯置换	30
第二节 碎(砂)石桩	43
第三节 石灰桩	68
第四节 土(或灰土)桩	72
第五节 水泥粉煤灰碎石桩	76
思考题与习题	84
第四章 排水固结	85
第一节 概述	85
第二节 加固机理	86
第三节 设计与计算	89
第四节 施工方法	97
第五节 质量检验	105
第六节 工程实例	109
思考题与习题	117
第五章 化学加固	118

第一节 灌浆法	118
第二节 水泥土搅拌法	129
第三节 高压喷射注浆法	156
思考题与习题	175
第六章 加筋	176
第一节 土工合成材料	176
第二节 树根桩	194
思考题与习题	201
参考文献	203

第一章 绪 言

第一节 地基处理的定义

场地 (Site) 是指工程建设所直接占有并直接使用的有限面积的土地。场地范围内及其邻近的地质环境都会直接影响着场地的稳定性。场地的概念是宏观的, 它不仅代表着所划定的土地范围, 还应涉及某种地质现象和工程地质问题所概括的地区。所以“场地”不能机械地理解为建筑占地面积, 在地质条件复杂的地区, 还应包括该面积在内的某个微地貌、地形和地质单元。

地基 (Foundation, Subgrade) 是指承托建筑物基础的这一部分很小的场地。建筑物的地基所面临的一般有以下四方面问题: ①强度和稳定性, 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变形, 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, 会影响结构物的使用功能; 当大于建筑物所能容许的不均匀沉降时, 结构可能开裂; ③渗漏, 由于地下水在运动中会产生水量的损失, 或因潜蚀和管涌而可能导致建筑物产生事故; ④液化, 在动力荷载作用下, 会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。

基础 (Foundation, Footing) 是指建筑物向地基传递荷载的下部结构。它具有承上启下的作用。它处于上部结构的荷载及地基反力的相互作用下, 承受由此而产生的轴力、剪力和弯矩。另外, 基础底面的压力, 作为地基上的荷载, 使地基土产生应力和变形。

地基处理是指天然地基很软弱, 不能满足地基承载力和变形的设计要求, 而地基需经过人工处理后再建造基础者, 欧美国家称为地基处理 (Ground Treatment), 亦有称地基加固 (Ground Improvement)。

我国地域辽阔、幅员广大、自然地理环境不同、土质各异、地基条件区域性较强, 因而使得地基基础这门学科特别复杂。随着我国国民经济的发展, 不仅事先要选择在地质条件良好的场地上从事建设, 而且有时也不得不在地质条件不良的地基上进行修建; 另外, 随着科学技术的日新月异, 建筑物的荷载日益增大; 对变形要求也越来越严, 因而原来一般可被评价为良好的地基, 也可能在特定条件下非进行地基处理不可。所以我们不仅要善于针对不同的地质条件、不同的建筑物选定最合适的基础形式、尺寸和布置方案外, 而且要善于选取最恰当的地基处理方法。

第二节 地基处理的对象及其特性

地基处理的对象是软弱地基 (Soft Foundation) 和特殊土地基 (Special Ground)。

一、软弱地基

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)^[4]中明确规定:“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。”

(一) 软土

软土(Soft Soil)是淤泥(Muck)和淤泥质土(Mucky Soil)的总称。它是在静水或非常缓慢的流水环境中沉积,经生物化学作用形成的。

软土的特性是天然含水量高、天然孔隙比大、抗剪强度低、压缩系数高、渗透系数小。在外荷载作用下地基承载力低、地基变形大,不均匀变形也大,且变形稳定历时较长,在比较深厚的软土层上,建筑物基础的沉降往往持续数年乃至数十年之久。

设计时宜利用其上覆较好的土层作为持力层;应考虑上部结构和地基的共同作用;对建筑体型、荷载情况、结构类型和地质条件等进行综合分析,再确定建筑和结构措施及地基处理方法。

施工时应注意对软土基槽底面的保护,减少扰动;对荷载差异较大的建筑物,宜先建重、高部分,后建轻、低部分。

对活荷载较大如料仓和油罐等构筑物或构筑物群,使用初期应根据沉降情况控制加载速率,掌握加载间隔时间或调整活荷载分布,避免过大不均匀沉降。

(二) 冲填土

冲填土(Hydraulic Fill)是指整治和疏浚江河航道时,用挖泥船通过泥浆泵将泥砂夹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。

如以黏性土为主的冲填土,因吹到两岸的土中含有大量水分且难于排出而呈流动状态,这类土是属于强度低和压缩性高的欠固结土。如以砂性土或其他粗颗粒土所组成的冲填土,其性质基本上和粉细砂相类似而不属于软弱土范畴。

冲填土是否需要处理和采用何种处理方法,取决于冲填土的工程性质中颗粒组成、土层厚度、均匀性和排水固结条件。

(三) 杂填土

杂填土(Miscellaneous Fill)是指由人类活动而任意堆填的建筑垃圾、工业废料和生活垃圾而形成的土。

杂填土的成因很不规律,组成的物质杂乱,分布极不均匀,结构松散。因而强度低、压缩性高和均匀性差,一般还具有浸水湿陷性。即使在同一建筑场地的不同位置,其地基承载力和压缩性也有较大差异。

对有机质含量较多的生活垃圾和对基础有侵蚀性的工业废料,未经处理不应作为持力层。

(四) 高压缩性土

饱和松散粉细砂包括部分粉土,在动力荷载(机械振动、地震等)重复作用下将产生液化;在基坑开挖时也会产生管涌。

二、特殊土地基

特殊土地基带有地区性特点,它包括软土、湿陷性黄土、膨胀土、红黏土和冻土等地基。以下简要阐明其特性。

(一) 湿陷性黄土

凡天然黄土在上覆土的自重应力作用下,或在上覆土自重应力和附加应力作用下,受水

浸湿后土的结构迅速破坏而发生显著附加下沉的黄土，称为湿陷性黄土（Collapsible Loess）。

由于黄土的浸水湿陷而引起建筑物的不均匀沉降是造成黄土地区事故的主要原因，设计时首先要判断是否具有湿陷性，再考虑如何进行地基处理。选择地基处理方法，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，并经综合技术经济比较确定，湿陷性黄土地基的处理方法可按表 1-1 选择。

湿陷性黄土地基常用的处理方法

表 1-1

处 理 方 法	适 用 范 围	一般可处理（或穿透）基底下的湿陷性土层厚度（m）
垫层法	地下水位以上局部或整片处理	1 ~ 3
强夯法	$S_r < 60\%$ 的湿陷性黄土，局部或整片处理	3 ~ 6
土（灰土）挤密桩法	地下水位以上局部或整片处理	5 ~ 15
桩基础	基础荷载大，有可靠的持力层	≤ 30
预浸水法	Ⅲ、Ⅳ级自重湿陷性黄土场地，6m 以上，尚应采用垫层法处理	可消除地面下 6m 以内全部土层的湿陷性
单液硅化或碱液加固法	一般用于加固地下水位以上的既有建筑物地基	一般小于 10m，而单液硅化加固的最大深度可达 20m

（二）膨胀土

膨胀土（Expansive Soil）是指黏粒成分主要由亲水性黏土矿物组成的黏性土。它是一种吸水膨胀和失水收缩、具有较大的胀缩变形性能，且是变形往复的高塑性黏土。利用膨胀土作为建筑物地基时，如果不进行地基处理，常会对建筑物造成危害。

（三）红黏土

红黏土（Red Clay）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，经风化作用所形成的褐红色黏性土。通常红黏土是较好的地基土，但由于下卧岩面起伏及存在软弱土层，一般容易引起地基不均匀沉降。

（四）季节性冻土

冻土（Frozen Soil）是指气候在负温条件下，其中含有冰的各种土。季节性冻土（Seasonally Frozen Ground）是指该冻土在冬季冻结，而夏季融化的土层。多年冻土或永冻土（Permafrost）是指冻结状态持续三年以上的土层。季节性冻土因其周期性的冻结和融化，因而对地基的不均匀沉降和地基的稳定性影响较大。

第三节 地基处理的目的

地基处理的目的是采取各种地基处理方法以改善地基条件，这些措施包括以下五个方面内容：

一、改善剪切特性

地基的剪切破坏表现在建筑物的地基承载力不够；由于偏心荷载及侧向土压力的作用，使结构物失稳；由于填土或建筑物荷载，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在地基上的抗剪强度不足。因此，为了防止剪切破坏，就需要采取一定措施以增加地基土的抗剪强度。

二、改善压缩特性

地基的高压缩性表现在建筑物的沉降和差异沉降大；由于有填土或建筑物荷载，使邻近地基产生固结沉降；作用于建筑物基础的负摩擦力所引起的建筑物沉降；基坑开挖引起邻近地基沉降；由于降水产生地基固结沉降。

地基的压缩性反映在地基上的压缩模量指标的大小。因此，需要采取何种措施以提高地基土的压缩模量，借以减少地基的沉降或不均匀沉降；另外，防止侧向流动（塑性流动）产生的剪切变形，也是地基处理的加固目的。

三、改善透水特性

地基的透水性表现在堤坝等基础产生的地基渗漏；市政开挖工程中，因土层内常夹有薄层粉砂或粉土而产生流砂和管涌。以上都是在地下水的运动中所出现的问题。为此，必须研究需要采取何种地基处理措施使地基土变成不透水或减少其水压力。

四、改善动力特性

地基的动力特性表现在地震时饱和松散粉细砂（包括部分粉土）将会产生液化；由于交通荷载或打桩等原因，使邻近地基产生振动下沉。为此，需要研究采取何种措施防止地基土液化，并改善其振动特性以提高地基的抗震性能。

五、改善特殊土的不良地基的特性

主要是指消除或减少黄土的湿陷性和膨胀土的胀缩性等地基处理的措施。

第四节 地基处理方法的分类

地基处理的历史可追溯到古代，我国劳动人民在地基处理方面有着极其宝贵的丰富经验，许多现代的地基处理技术都可在古代找到它的雏型。根据历史记载，早在二千年前就已采用了软土中夯入碎石等压密土层的夯实法；灰土和三合土的垫层法，也是我国古代传统的建筑技术之一；我国古代在沿海地区极其软弱的地基上修建海塘时，采用每年农闲时逐年填筑而成，这就是现代堆载预压法中称为分期填筑的方法，利用前期荷载使地基逐年固结，从而提高土的抗剪强度，以适应下一期荷载的施加，它是我国劳动人民在软土地基上从实践中积累的宝贵经验。

地基处理方法的分类可有多种多样。如按时间可分为临时处理和永久处理；按处理深度可分为浅层处理和深层处理；按处理土性对象可分为砂性土处理和黏性土处理，饱和土处理和非饱和土处理；也可按照地基处理的作用机理进行分类。作者认为按地基处理的作用机理进行分类的方法较为妥当，见表 1-2，它体现各种地基处理方法的主要特点。

地基处理的基本方法，无非是置换、夯实、挤密、排水、胶结、加筋和冷热等处理方法，这些方法也是千百年来以至迄今仍然有效的方法。值得注意的是，严格地按照地基处理的作用机理进行分类也是困难的，很多地基处理的方法具有多种处理的效果。如碎石桩具有置换、挤密、排水和加筋的多重作用；石灰桩又挤密又吸水，吸水后又进一步挤密等反复作用；在各种挤密法中，同时都有置换作用。由此可见，每一种处理方法都可能具有多种处理的效果。

地基处理方法的分类及其特点

表 1-2

分类	处理方法	原 理 和 作 用	适 用 范 围	优点及局限性
换土垫层法	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(石)垫层、碎石垫层、粉煤灰垫层、矿渣垫层、土(灰土)垫层等。 可提高持力层的承载力, 减少沉降量; 消除或部分消除土的湿陷性和胀缩性; 防止土的冻胀作用和改善土的抗液化性	常用于基坑面积宽大和开挖土方量较大的回填土方工程。 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	简易可行, 但仅限于浅层处理, 一般不大于 3m, 对湿陷性黄土地基不大于 5m。 如遇地下水, 对重要工程, 需有附加降低地下水位的措施
	平板振动法		适用于处理非饱和和无黏性土地基或黏粒含量少和透水性好的杂填土地基	
深层密实法	强夯法	利用强大的夯击能迫使深层土液化和动力固结, 使土体密实, 用以提高地基承载力和减小沉降、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 7m 的软弱土层、边夯边填碎石等粗颗粒材料, 形成深度为 3 ~ 7m, 直径为 2m 左右的碎石柱体, 与周围土体形成复合地基	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及湿陷性黄土。 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	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。 施工时对周围有很大振动和噪声, 不宜在闹市区施工。 需要有一套重锤、起重机等强夯施工机具
	挤密桩法(碎石、砂石桩挤密法)(石灰、土、灰土桩挤密法)	利用挤密或振动使深层土密实, 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, 与桩间土一起组成复合地基, 从而提高地基承载力, 减少沉降量, 消除或部分消除土的湿陷性或液化性	砂(砂石)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。 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 ~ 15m 的湿陷性黄土和人工填土	经振冲处理后, 地基土性较为均匀
	水泥粉煤灰碎石桩法	由水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂加水拌合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, 减小变形等特点	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	对淤泥质土应通过现场试验确定其适用性

续表

分类	处理方法	原理和作用	适用范围	优点及局限性
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,及采取加压、抽气、抽水或电渗等措施,以加速地基土的固结和强度增长,提高地基土的稳定性,并使沉降提前完成	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	需要有预压时间和荷载条件,及土石方搬运机械 对真空预压,预压力达80kPa不够时,可同时加土石方堆载。真空泵需长时间抽气,耗电较大 降水预压法无需堆载,效果取决于降低水位的深度,需长时间抽水,耗电较大
加筋法	土工合成材料	在人工填土的路堤或挡墙内铺设土工合成材料、钢带、钢条、尼龙绳或玻璃纤维等作为拉筋;土锚、土钉和锚定板都是提高土体的自身强度和自稳能力;或在软弱土层上设置树根桩、碎石桩、砂(石)桩等,使这种人工复合土体,可承受抗拉、抗压、抗剪和抗弯作用,用以提高地基承载力、减少沉降和增加地基稳定性	土工合成材料适用于砂土、黏性土和软土	
	加筋土、土锚、土钉、锚定板		加筋土适用于人工填土的路堤和挡墙结构 土锚、土钉和锚定板适用于土坡稳定	
	树根桩		树根桩适用于各类土,可用于稳定土坡支挡结构,或用于对既有建筑物的托换工程	
	碎石桩、砂石桩、砂桩		碎石桩、砂石桩、砂桩适用于黏性土、疏松砂性土,人工填土,对于软土,经试验证明施工有效时方可采用	
胶结法	注浆法	通过注入水泥浆液或化学浆液的措施,使土粒胶结,用以提高地基承载力,减少沉降、增加稳定性、防止渗漏	适用于处理岩基、砂土、粉土、淤泥质黏土、粉质黏土、黏土和一般人工填土,也可加固暗浜和使用在托换加固工程	
	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,然后将水泥浆液以高压冲切土体,在喷射浆液的同时,以一定速度旋转、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。加固后可用以提高地基承载力,减少沉降,防止砂土液化、管涌和基坑隆起、建成防渗帷幕	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。当土中含有较多的粒径块石、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。 对既有建筑物可进行托换加固	

续表

分类	处理方法	原理和作用	适用范围	优点及局限性
胶结法	水泥土搅拌法	水泥土搅拌法施工时分湿法（亦称深层搅拌法）和干法（亦称粉体喷射搅拌法）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。搅拌后形成柱状水泥土体，可提高地基承载力、减少沉降、增加稳定性和防止渗漏，建成防渗帷幕	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。 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	不能用于含石块的杂填土
热学方法	热加固法	热加固法是通过渗入压缩的热空气和燃烧物，并依靠热传导，而将细颗粒土加热到 100℃ 以上，则土强度就会增加，压缩性随之降低	适用于非饱和黏性土、粉土和湿陷性黄土	加固工程所在地区要有提供富余热能的条件
	冻结法	采用液体氮或二氧化碳膨胀的方法，或采用普通的机械制冷设备与一个封闭式液压系统相连接，而使冷却液在内流动，从而使软而湿的土进行冻结，以提高地基土的强度和降低土的压缩性	适用于各类土，特别在软土地质条件，开挖深度大于 7~8m，以及低于地下水位的情况下是一种普遍而有用的施工措施	要求有一套制冷设备，耗电量大，通常用于采矿系统的工程

对每种地基处理方法使用时，必须注意每种地基处理方法的加固机理、适用范围、优点和局限性。

托换技术或称基础托换（Underpinning）是指解决对既有建筑物的地基需要处理和基础需要加固的问题；和对既有建筑物基础下需要修建地下工程以及其邻近需要建造新工程而影响到既有建筑物的安全等技术总称。

托换技术是一种建筑技术难度较大、费用较贵、工期较长的特殊施工方法。托换技术需要应用各种地基处理方法，因而很多地基处理著作中都列入了托换技术内容，当前我国行业标准《既有建筑地基基础加固技术规范》（JGJ 123—2000）^[2]业已问世，其相应的配套工具书《既有建筑地基基础加固工程实例应用手册》^[10]也于 2002 年正式出版，因限于篇幅，托换技术这一内容可参见以上有关著作。

第五节 设计前调查研究和方案选择

一、地基处理设计前调查研究

调查研究的内容有：

（一）结构条件

建筑物的体形、刚度、结构受力体系、建筑材料和使用要求；荷载大小、分布和种类；基础类型、布置和埋深；基底压力、天然地基承载力和变形容许值等。

（二）地基条件

地形及地质成因、地基成层状况；软弱土层厚度、不均匀性和分布范围；持力层位置及状况；地下水情况及地基土的物理和力学性质。

各种软弱地基的性状是不同的，现场地质条件随着场地的位置不同也是多变的。即使同一种土质条件，也可能具有多种地基处理方案。

如果根据软弱土层厚度确定地基处理方案，当软弱土层厚度较薄时，可采用简单的浅层加固的方法，如换土垫层法；当软弱土层厚度较厚时，则可按加固土的特性和地下水位高低采用排水固结法、水泥土搅拌桩法、挤密桩法、振冲法或强夯法等。

如遇砂性土地基，若主要考虑解决砂土的液化问题，则一般可采用强夯法、振冲法或挤密桩法等。

如遇软土层中夹有薄砂层，则一般不需设置竖向排水井，而可直接采用堆载预压法；另外，根据具体情况也可采用挤密桩法等。

如遇淤泥质土地基，由于其透水性差，一般应采用竖向排水井和堆载预压法、真空预压法、土工合成材料、水泥土搅拌法等。

如遇杂填土、冲填土（含粉细砂）和湿陷性黄土地基，在一般情况下采用深层密实法是可行的。

（三）环境影响

在地基处理施工中应考虑场地的环境影响：如采用强夯法和振动砂桩挤密法等施工时，振动、噪声和挤土对邻近建筑物和居民会产生影响和干扰；

如采用堆载预压法时，将会有大量土方运进输出，既要有堆放场地，又不能妨碍交通；

如采用真空预压法或降水预压法时，往往会使邻近建筑物周围地基产生附加下沉；

如采用高压喷射注浆法或石灰桩时，有时会污染周围环境。

总之，施工时对场地的环境影响也不是绝对的，应慎重对待和妥善处理。

（四）施工条件

（1）用地条件。如施工时占地较大，对施工虽较方便，但有时却会影响工程造价。

（2）工期。从施工观点，若工期允许较长，这样可有条件选择缓慢加荷的堆载预压法方案。但有时工程要求工期较短，早日完工投产使用，这样就限制了某些地基处理方法的采用。

（3）工程用料。尽可能就地取材，如当地产砂，则应考虑采用砂垫层或挤密砂桩等方案的可能性；如当地有石料供应，则应考虑采用碎石桩或碎石垫层等方案。

（4）其他。施工机械的有无、施工难易程度、施工管理质量控制、管理水平和工程造价等因素也是采用何种地基处理方案的关键因素。

二、地基处理方案确定步骤

（一）在选择地基处理方案前应具备的资料

（1）如果勘察资料不全，则必须根据可能采用的地基处理方法所需的勘察资料做必要的补充勘察；并须搜集地下管线和地下障碍物分布情况的资料。