

中国地质大学(武汉)“十一五”精品教材建设资助

地基处理

DIJI CHULI

(第二版)

林彤 编著



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

中国地质大学(武汉)“十一五”精品教材建设资助

地基处理

DIJI CHULI

(第二版)

林 彤 编著



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

图书在版编目(CIP)数据

地基处理/林彤编著. —2 版.—武汉:中国地质大学出版社有限责任公司,2012.8
ISBN 978-7-5625-2905-7

- I. ①地…
- II. ①林…
- III. ①地基处理
- IV. TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 158538 号

地基处理（第二版）		林 彤 编著
责任编辑：胡珞兰 方 菊	选题策划：梁 志 方 菊	责任校对：戴 莹
出版发行：中国地质大学出版社有限责任公司（武汉市洪山区鲁磨路 388 号） 邮编：430074		
电 话：(027) 67883511	传 真：67883580	E-mail: cbb @ cug. edu. cn
经 销：全国新华书店	Http: //www. cugp. cug. edu. cn	
开本：787 毫米×1 092 毫米 1/16	字数：420 千字 印张：16.375	
版次：2007 年 4 月第 1 版 2012 年 8 月第 2 版	印次：2012 年 8 月第 2 次印刷	
印刷：武汉市教文印刷厂	印数：3 001—6 000 册	
ISBN 978-7-5625-2905-7		定价：33.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

再版前言

《地基处理》是研究软弱地基和特殊土地基加固的一门应用学科，是“土木工程”一级学科的重要组成部分，是土木工程专业及其他相关专业各类本（专）科生的主干专业课程。通过本课程的学习，使学生对软土和特殊土的工程性质有基本的认识，在理论上掌握各种地基处理方法的加固机理、适用条件、设计计算、施工工艺和质量检验；能熟练地运用地基处理的有关基本知识和基本理论对各类地基问题进行分析；能理论联系实际，针对实际工程情况，初步学会选取合适的地基处理方法解决工程问题。通过本课程的学习，要求学生掌握对地基问题进行分析、设计以及施工的基本技能，为进一步从事地基处理工作打下坚实的基础，培养学生独立从事地基处理设计、施工和管理的能力。

中国地质大学出版社 2007 年 4 月出版的、由林彤编著的《地基处理》经过多年的教学、科研及生产实践，得到了各方面的认可和肯定。与原版相比，这次再版主要增加了水泥粉煤灰碎石桩（CFG 桩）相关内容，如水泥粉煤灰碎石桩法的优点、加固机理、设计计算以及施工工艺等；根据情况增加了几个工程实例，为生产实践提供了更多的案例。

在本书的再版工作过程中，得到了许多单位和个人的大力帮助和支持，在此一并表示感谢！

本书可作为土木工程专业及相关专业的各类本（专）科生，如土木工程专业（岩土工程方向）、土木工程专业（工程地质方向）、土木工程专业（道路桥梁方向）、地质工程等相关专业的本科教材。也可供水利水电工程、道路工程、港口工程、桥梁工程等专业从事勘察、设计、施工、监理的技术人员和管理人员参考。

敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 8 月于武昌喻家山

前 言

随着我国国民经济持续高速的增长,基础设施建设的不断加大,土木工程得到了迅猛发展。岩土工程是土木工程专业中非常重要的一个领域,在工程实践中遇到了很多的新课题。作为岩土工程领域最为活跃、最有生命力的一个分支,地基处理技术的研究和应用水平也得到了很大的提高。

我国土地辽阔、自然地理环境不同,软土及其他不良地基土的分布范围非常广,不仅事先要选择在地质条件良好的场地从事工程建设,而且有时也不得不在地质条件不好的地方修建建(构)筑物,因此,必须要对天然的软弱地基进行处理。由于上部结构对地基的变形要求也越来越严格,因此,地基处理在土木工程建设中的应用日益广泛。

目前,国内外的地基处理方法很多,且许多方法还在不断的发展之中。每一种地基处理方法都有各自的适用范围和局限性,没有哪一种地基处理方法可以解决工程建筑中的所有问题。为此,本书编写的原则是尽可能反映国内外的地基处理的新技术和新方法,并对各种地基处理方法阐明其加固机理、设计和施工方法以及质量检验方法。在每章的最后,给出了工程实例以及思考题,这也是本书的一个特色,以便读者理解和掌握,旨在使其对目前土木工程中常用的地基处理方法有一个较全面的了解,增加地基处理的专业知识,提高解决地基处理工程实际问题的能力。

本书配合新的国家规范,介绍了土木工程建设中常用的地基处理方法。全书共分8章。第1章为绪论;第2章为复合地基;第3章为换填垫层法;第4章为深层密实法;第5章为排水固结法;第6章为化学加固法;第7章为土的加筋法;第8章为托换技术,特别介绍了结构物的迁移。

在本书的编写和出版过程中,得到了中国地质大学教务处、中国地质大学工程学院、中国地质大学出版社等单位的大力支持和帮助。同时,也得到了许多同志热情的帮助和支持;本教材引用了很多相关的参考资料和文献,在此,谨向这些资料的作者表示衷心地感谢。

上海同济大学的叶观宝教授(博导)、武汉理工大学的夏元友教授(博导)和中国地质大学的唐辉明教授(博导)在百忙之中,对本书进行了认真、仔细地审稿,并提出了宝贵的意见和建议。武汉大学的刘祖德教授(博导)由于身体原因,未能对本教材进行审稿,这是一个很大的遗憾。在此,编者特别表示由衷的感谢!

编者的研究生王丽、杨建、罗飞等完成了本书的绘图工作,为顺利出版本书付出了辛勤的劳动,也一并表示感谢。

本书可作为高等学校土木工程专业、地质工程专业、道路和桥梁专业以及相关专业的本科教材,也可供土木工程专业、地质工程专业及相关专业从事勘察、设计、施工和监理的技术人员参考。

由于编者的水平有限,书中难免存在错误和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2007年4月于武昌喻家山

目 录

1 绪论	(1)
1.1 地基处理的目的	(1)
1.2 软弱地基和特殊土地基的特性	(3)
1.3 地基处理方法的分类	(5)
1.4 地基处理设计前的工作内容和方案选择	(7)
1.5 地基处理工程的施工管理	(10)
1.6 地基处理技术的发展概况	(11)
思考题	(12)
2 复合地基.....	(13)
2.1 概述	(13)
2.2 复合地基的常用形式	(15)
2.3 复合地基的常用概念	(16)
2.4 竖向增强体复合地基承载力计算	(19)
2.5 水平向增强体复合地基承载力计算	(21)
2.6 复合地基沉降计算	(22)
思考题	(26)
3 换填垫层法.....	(27)
3.1 概述	(27)
3.2 垫层的作用	(27)
3.3 垫层的设计	(28)
3.4 垫层施工	(32)
3.5 垫层质量检验	(35)
3.6 工程实例	(36)
思考题	(38)
4 深层密实法.....	(39)
4.1 概述	(39)

4.2	强夯法	(40)
4.3	碎石桩和砂桩	(50)
4.4	土桩和灰土桩	(65)
4.5	水泥粉煤灰碎石桩	(71)
	思考题	(76)
5	排水固结法	(78)
5.1	概述	(78)
5.2	排水固结法的原理	(79)
5.3	排水固结法的设计与计算	(80)
5.4	砂井堆载预压法	(82)
5.5	地基抗剪强度的预测	(91)
5.6	稳定性分析	(92)
5.7	沉降计算	(94)
5.8	其他排水固结方法	(96)
5.9	排水固结法的实施和质量检验	(102)
	思考题	(104)
6	化学加固法	(105)
6.1	概述	(105)
6.2	灌浆法	(105)
6.3	高压喷射注浆法	(131)
6.4	水泥土深层搅拌法	(149)
	思考题	(163)
7	土的加筋法	(164)
7.1	概述	(164)
7.2	土工合成材料	(164)
7.3	加筋土挡土墙	(178)
7.4	土钉	(192)
	思考题	(203)
8	托换技术	(204)
8.1	概述	(204)

8.2	基础加宽托换	(209)
8.3	坑式托换	(211)
8.4	桩式托换	(214)
8.5	建筑物纠偏	(231)
8.6	结构物的迁移	(248)
	思考题.....	(250)
	参考文献.....	(252)

1 绪 论

1.1 地基处理的目的

1.1.1 地基、基础和地基处理

任何建(构)筑物的荷载最终将传递给地基,并由地基承担。

地基(foundation, subgrade)是指承托建(构)筑物基础的有限面积内的土层。由于上部结构建筑构件的强度很高,而相应的地基土强度则很低,压缩性比较大,因此,必须设置一定结构形式和尺寸的基础,将上部结构的荷载有效地传递给地基土,以满足对地基土承载力、变形及稳定性的要求。

基础(foundation, footing)处于上部结构和地基土之间,具有承上启下的作用。一方面,基础在上部结构的荷载及地基反力的共同作用下,承受由此而产生的轴力、剪力和弯矩等内力;另一方面,基础底面的反力又反过来作为地基上的荷载,使地基土产生应力和变形。

作为基础设计,除了要保证基础结构本身具有足够的强度和刚度外,同时还要选择合理的基础尺寸和布置方案,使地基土的强度和变形满足规范要求。因此,基础方案的论证常常是地基评价的自然引申和必然结果,地基和基础的设计往往是不能截然分开的,所以,基础设计又常常被称为地基基础设计。如在英语名词中,“地基”和“基础”两个词均使用“foundation”,由此可见两者具不可截然分开的依存关系。

凡是基础直接建造在未经过加固处理的天然土层上时,这种地基被称为天然地基。如果天然地基很软弱,不能够满足地基强度和变形等要求,则预先要经过人工处理,形成人工地基以后再建造基础,这种地基加固被称为地基处理(foundation soil treatment)。

地基处理的目的是利用置换、夯实、挤密、排水、胶结、加筋以及冷热处理等方法对地基土进行加固,以改善地基土的强度、压缩性、渗透性、动力特性、湿陷性和胀缩性等。

我国地域辽阔、幅员广大,自然地理环境不同,土质各异,地基条件的区域性较强,因此,解决各类工程在设计及施工中出现的各种复杂的岩土工程问题,将是地基基础这门学科面临的课题。

随着当前我国经济建设的迅猛发展,不仅事先要选择在地质条件良好的场地从事工程建设,而且有时也不得不在地质条件不好的地方修建建(构)筑物,因此,必须要对天然的软弱地基进行处理。

1.1.2 地基可能出现的问题

概括地说,建(构)筑物的地基问题包含以下 4 个方面。

1. 强度及稳定性问题

当地基的抗剪强度不足以支承上部结构的自重以及外荷载时,地基就会产生局部或者整

体剪切破坏,这会影响到建(构)筑物的正常使用,甚至会引起建(构)筑物的开裂或破坏。

2. 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,就会影响建(构)筑物的正常使用,特别是当地基的变形超过建筑物所能允许的不均匀沉降时,上部结构可能开裂甚至遭到破坏。一般而言,地基的沉降量较大,其不均匀沉降也较大。湿陷性黄土遇水而发生剧烈的变形和膨胀土的胀缩等也可以包括在这类问题中。

3. 渗漏问题

渗漏(seepage)是指由于地基中地下水的流动而引起的有关问题,例如当地基的渗漏量或水力比降超过允许值时,会发生水量损失或因潜蚀和管涌而可能导致的建(构)筑物失事。

4. 液化问题

地震、机器设备以及车辆的振动、波浪作用和爆破等动力荷载可能引起地基土,特别是饱和松散粉细砂(包括部分粉土)产生液化(liquefaction)、失稳和震陷等危害。

在土木工程建筑中,当天然地基存在上述 4 种问题之一或者其中几个问题时,必须采用相应的地基加固处理措施,以保证建筑物的安全与正常使用。

根据调查统计,世界各国的土木、水利、交通等各类工程中,地基问题常常是引起各类工程事故的主要原因。

地基问题的处理恰当与否,直接关系到整个工程建设质量的可靠性、投资的合理性以及施工进度。因此,地基处理的重要性已经越来越被更多的人所认识和了解。

1.1.3 地基处理的目的

地基处理的目的是利用换填、夯实、挤密、排水、胶结、加筋以及冷热处理等方法对地基土进行加固,用以改良地基土的不良工程特性,主要表现在以下几个方面。

1. 提高地基土的抗剪强度

地基土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,填土或建(构)筑物荷载使邻近的地基土产生隆起,土方开挖时边坡失稳,基坑开挖时坑底隆起,等等。地基的剪切破坏反映了地基土的抗剪强度不足。因此,为了防止地基土发生剪切破坏,就需要采取一定的加固措施以提高地基土的抗剪强度。

2. 降低地基土的压缩性

地基土的压缩性表现在建(构)筑物的沉降和差异沉降较大,如填土或建(构)筑物荷载使地基土产生固结沉降,作用于建(构)筑物基础的负摩阻力引起建(构)筑物的沉降,大范围地基土的沉降和不均匀沉降,基坑开挖引起邻近地面沉降,降水使地基土产生固结沉降等。地基土的压缩性可以用其压缩模量的大小来表示。因此,需要采取措施以提高地基土的压缩模量,从而减少地基土的沉降或不均匀沉降。

3. 改善地基土的透水特性

地基土的透水性表现在堤坝等基础产生的地基渗漏,在基坑开挖工程中,因土层内夹薄层粉砂或粉土而产生流砂和管涌。这些地下水在土中运动所出现的问题,必须采取相应的措施,降低地基土的透水性,减小地基土中的水压力。

4. 改善地基土的动力特性

地基土的动力特性表现在地震时饱和松散粉细砂(包括部分粉土)可能产生液化,由于交

通荷载或打桩等原因,使邻近地基土产生振动下沉。为此,需要采取措施,防止地基土液化并改善其动力特性,以提高地基土的抗震性能。

5.改善特殊土的不良地基特性

主要是消除或减弱湿陷性黄土的湿陷性和膨胀土的胀缩特性,等等。

天然地基是否需要进行处理,取决于地基土的性质和建(构)筑物对地基土的要求。地基处理的对象是软弱地基和特殊土地基。

在土木工程建设中遇到的软弱土和特殊土,主要包括:软黏土、人工填土、部分砂土和粉土、湿陷性土、有机土和泥炭土、膨胀土、多年冻土、岩溶、土洞、山区地基以及垃圾填埋地基等。

1.2 软弱地基和特殊土地基的特性

软弱地基(soft foundation)是指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层构成的地基。

特殊土地基(special ground)大部分具有地区性特点,具体包括软土、湿陷性黄土、人工填土、膨胀土、有机土和泥炭土、红黏土、冻土、岩溶土和垃圾填埋土等。

以下分别介绍工程中经常遇到的、需要处理的地基土。

1.软黏土

软黏土是软弱黏性土的简称,常称为软土(soft soil)。

软黏土主要是在第四纪后期形成的海相、泻湖相、三角洲相和湖沼相等的黏性土沉积物或者河流冲积物,也有新近形成的淤积物。软黏土是在静水或者缓慢的流水环境中沉积,并经过生物化学作用形成的,天然含水量大于液限,天然孔隙比大于 1.0 的黏性土。当天然含水量大于液限且天然孔隙比大于 1.0 但小于 1.5 时,称淤泥质土。当软土的天然孔隙比大于 1.5 时,称为淤泥(muck)。

软土的特性是天然含水量高,天然孔隙比大,抗剪强度低,压缩系数大,渗透系数小,压缩模量低及触变性显著等。在外荷载作用下的地基土承载力低,沉降变形大,不均匀变形也大,透水性差。另外,由于黏土具有流变性,除了固结应力引起的固结变形外,在剪应力作用下,软土处于长期的变形之中,其变形稳定的历时较长,即流变性较强。因此,在比较深厚的软土层上,建(构)筑物基础的沉降经常持续数年乃至数十年之久。

软土广泛分布在我国东南沿海、内陆平原和山区,如深圳、上海、杭州、温州、福州、广州、宁波、连云港、天津和厦门等沿海经济发达地区,以及武汉、南京、昆明、九江、南通、马鞍山等内陆地区。

2.人工填土

人工填土按照其物质组成和填土的方式分为三类:素填土、杂填土和冲填土。

(1)素填土。素填土(fill)是由碎石、砂或粉土、黏性土的一种或几种材料组成的填土,填土中不含杂质或杂质含量很少。道路工程中经常使用的分层填筑分层压实的素填土称为压实填土。其性质取决于填土性质、压实程度和填筑时间等。

(2)杂填土。杂填土(miscellaneous fill)是由于人类活动而形成的任意堆积物,由大量建筑垃圾、工业废料和生活垃圾组成。杂填土的成因很不规律,组成物质成分复杂,分布杂乱极不均匀,且结构松散。它的主要特性是强度低、压缩性高和均匀性差,一般还具有浸水湿陷性。

对有机质含量较多的生活垃圾,以及对基础有侵蚀性的工业废料、对地下水和土壤有污染的杂填土,未经处理不宜作为基础的持力层。

(3)冲填土。冲填土(hydraulic fill)是由水力冲填泥砂形成的。在整治和疏通江河航道时,用泥泵浆将挖泥船挖出的夹有大量水分的泥砂,通过输泥管吹填到江河两岸而形成的冲(吹)填土。

冲填土的性质与冲填泥砂的来源以及冲填时的水力条件密切相关。冲填土的成分比较复杂,以黏性土为例,由于土中含有大量的水分而难以排出,土体在沉积初期处于流动状态,因而冲填土属于强度较低、压缩性较高的欠固结土。另外,主要以砂或其他粗粒土所组成的冲填土,其性质基本上类似于粉细砂而不属于软弱土范围。可见,冲填土的工程性质主要取决于其颗粒组成、均匀性和沉积过程中的排水固结条件等。

3.湿陷性土

湿陷性土包括湿陷性黄土,粉砂土和干旱、半干旱地区具有崩解性的碎石土等。根据野外浸水载荷试验,可以确定土是否属于湿陷性土。在工程建设中遇到较多的是湿陷性黄土。

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的共同作用下,遇水浸湿后黄土的结构迅速破坏而发生显著的附加沉降,称为湿陷性黄土(collapsible loess)。

由于黄土的浸水湿陷而引起建(构)筑物的不均匀沉降是造成黄土地区工程事故的主要原因。因此在工程设计时,首先要判断黄土是否具有湿陷性,再考虑如何进行地基处理。

黄土在我国特别发育,地层多、厚度大。湿陷性黄土广泛分布在我国甘肃、陕西、山西大部分地区,以及河北、河南、山东、黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、宁夏、青海和新疆等部分地区。

4.膨胀土

膨胀土(expansive soil)是指土的黏性成分主要是由亲水性黏土矿物组成的黏性土,在环境温度和湿度变化时会产生强烈的胀缩。它是一种吸水膨胀、失水收缩、具有较大的胀缩变形性能且反复变形的高塑性黏土。

我国的膨胀土分布范围广,在广西、云南、湖北、河南、安徽、四川、河北、山东、陕西、江苏、内蒙古、贵州和广东等省均有分布。

利用膨胀土作为建(构)筑物的地基时,必须进行地基处理,否则会危害建(构)筑物的安全。

5.有机土和泥炭土

有机土是指有机含量大于5%的土。有机含量大于60%的土称为泥炭土。

如果土中的有机含量高,则土的强度往往降低,压缩性增大。特别是泥炭土,其含水量很高,压缩性很大,而且土层不均匀,需要进行地基处理。

6.红黏土

在亚热带温湿气候条件下,石灰岩和白云岩等碳酸盐类岩石经风化作用所形成的褐红色高塑性黏性土,称为红黏土(red clay)。

红黏土通常是比较好的地基土,但由于其下卧岩层层面的起伏变化,以及基岩的溶沟、溶槽等部位常常存在软弱土层,致使地基土层厚度及强度分布不均匀,易引起地基的不均匀变形。

7.冻土

冻土(permafrost)是当气温低于0℃时,土中液态水冻结成冰并胶结土粒而形成的一种特

殊土。按冻结持续的时间,又可将冻土分为季节性冻土和多年冻土。季节性冻土(seasonally frozen ground)是指冬季冻结、夏季融化的土层。冻结状态持续三年以上的土层称为多年冻土或冻土。

冻土的强度和变形有许多特性,如冻土中同时存在冰、未结冰的水和土,在长期荷载作用下,冻土具有强烈的流变性。

季节性冻土在我国东北、华北和西北广大地区均有分布,因其呈周期性的冻结和融化,对地基的稳定性影响较大。例如,冻土区地基土因冻胀而隆起,可能导致基础被抬起、开裂及变形,而融化又使地基土沉降,再加上建筑物下面各处地基土冻融程度的不均匀,往往造成建筑物的严重破坏。

8.岩溶、土洞、山区地基

岩溶(喀斯特 Karst)是石灰岩、白云岩、泥灰岩等可溶性岩层受水的化学作用和机械作用而形成的。岩溶的基本特性是:地基主要受力层范围内因水的化学和机械作用而形成溶洞、溶沟、溶槽、落水洞以及土洞等。土洞是岩溶地区上覆土层被地下水冲蚀或潜蚀所形成的洞穴。

岩溶和土洞对建(构)筑物的影响很大,可能造成地面变形、地基塌陷,发生渗水和涌水现象。因此,在喀斯特地区修建建(构)筑物时,要特别重视岩溶和土洞的影响。

我国岩溶地基广泛分布在贵州和广西两省,其他省份也有,如江苏、湖北等。岩溶地区溶洞的大小不同,且沿水平方向延伸,有的出现经常性水流,有的已干涸或被泥砂填实。

山区地基的地质条件比较复杂,基岩表面起伏大,有可能存在大块孤石,经常引起建(构)筑物基础的不均匀沉降。另外,滑坡、崩塌和泥石流等地质灾害也是山区常见的现象,对建(构)筑物形成直接的或者潜在的威胁。因此,在山区修建建(构)筑物时,要重视地基的稳定性,避免过大的不均匀沉降,必要时需进行地基处理。

9.垃圾填埋地基

垃圾填埋地基是由于垃圾填埋而形成的特殊地基,其性质非常复杂,主要取决于填埋垃圾的种类和性质。随着我国固体垃圾处理技术的发展,垃圾填埋地基有望减少。

该类地基处理的目的是:防止填埋垃圾对周围环境的影响,特别是对地下水、土壤的污染。垃圾填埋地基的合理利用是目前经常遇到的问题。

另外,工程中还会遇到盐渍土地基等,均需要进行相应的加固和处理。

应该注意的是,对软弱地基进行岩土工程勘察时,应查明软弱土层的均匀性、组成、分布范围和土质情况。对冲填土应了解其排水固结条件,对杂填土应查明堆载历史,明确在自重作用下的稳定性和湿陷性等基本因素。

1.3 地基处理方法的分类

根据史书记载,早在 2 000 多年以前,我国劳动人民就已经采用了在软土中夯入碎石等压密土层的夯实方法;灰土和三合土的垫层法也是我国传统的建筑技术之一。由此可见在我国地基处理技术的历史之悠久。许多现代的地基处理方法都可以在古代找到它的雏形。

地基处理方法的分类有很多种,可以从地基处理的原理、地基处理的目的、地基处理的性质、地基处理的时效和动机等不同角度进行分类。其中最本质的是根据地基处理的原理进行的分类,见表 1-1。

表 1—1 常用地基处理方法的原理、作用及适用范围

分类	处理方法	原理及作用	适用范围
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垫层、碎石垫层、粉煤灰垫层、干渣垫层、灰土垫层、二灰垫层和素土垫层等。它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,防止土的冻胀作用以及改善土的抗液化性	常用于基坑面积宽大和开挖土方量较大的回填土方工程,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
	重锤夯实法		一般适用于地下水位以上稍湿的黏性土、砂土、湿陷性黄土、杂填土以及分层填土地层
	平板振动法		适用于处理无黏性土或黏粒含量少和透水性好的杂填土地基
	强夯挤淤法	采用边强夯、边填碎石、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
深层密实法	强夯法	强夯法系利用强大的夯击能,迫使深层土液化和动力固结而密实	适用于碎石土、砂土、素填土、杂填土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土。对于淤泥质土经试验证明施工有效时方可使用
	挤密法(砂桩挤密法,振动水冲法,灰土桩、二灰桩或土桩挤密法,石灰桩挤密法)	挤密法系通过挤密或振动使深层土密实,并在振动挤密过程中,回填砂、砾石、灰土、土或石灰等形成砂桩、碎石桩、灰土桩、二灰桩、土桩或石灰桩,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	砂桩挤密法和振动水冲法一般适用于杂填土和松散砂土,对于软土地基经试验证明加固有效时方可使用; 灰土桩、二灰桩、土桩挤密法一般适用于地下水位以上,深度为 5~10m 的湿陷性黄土和人工填土
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、抽水和电渗等措施,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,但需要有预压的荷载和时间的条件。对于厚的泥炭层则要慎重对待
加筋法	加筋土、土锚、土钉	在人工填土的路堤或挡土墙内,铺设土工聚合物、钢带、钢条、尼龙绳或玻璃纤维等作为拉筋,或在软弱土层上设置树根桩或碎石桩等,使这种人工复合土体,可承受抗拉、抗压、抗剪和抗弯作用,以提高地基承载力,增加地基稳定性和减少沉降	加筋土和土锚适用于人工填土的路堤和挡土墙结构。土钉适用于土坡稳定
	土工聚合物		适用于砂土、黏性土和软土
	树根桩		适用于各类土
	碎石桩		碎石桩(包括砂桩)适用于黏性土。对于软土,经试验证明施工有效时方可采用
热学法	热加固法	热加固法是通过渗入压缩的热空气和燃烧物,依靠热传导,将细颗粒土加热到适当温度(100℃以上),则土的强度就会增加,压缩性随之降低	适用于非饱和黏性土、粉土和湿陷性黄土
	冻结法	冻结法是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,而使冷却液在里面流动,从而使软而湿的土进行冻结,以提高土的强度,降低土的压缩性	适用于各类土。对于临时性支承和地下水控制,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

续表 1—1

分类	处理方法	原理及作用	适用范围
化 学 加 固 法	灌浆法	通过注入水泥浆液或化学浆液,使土粒胶结,用以改善土的性质,提高地基承载力,增加其稳定性,减少沉降,防止渗漏	适用于处理基岩、砂土、粉土、淤泥质黏土、粉质黏土、黏土和一般填土层
	水泥土搅拌法	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,减少沉降量,防止渗漏,增加稳定性	适用于处理淤泥、淤泥质土、粉土和含水量较高且地基承载力标准值不大于 120kPa 的黏性土等地基。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
	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的土层的预定深度,然后用浆液(常用水泥浆)以高压冲切土体。在喷射浆液的同时,以一定速度旋转、提升,形成水泥土圆柱体;若喷嘴提升不旋转,则形成墙状固化体,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、人工填土和碎石土等地基。当土中含有较多的大粒径块石、坚硬黏性土、大量植物根茎或有过多的有机质时,应根据现场试验结果确定其适用程度

注:二灰为石灰与粉煤灰的拌合料。

应该指出的是,对地基处理方法进行严格的分类是十分困难的。不少地基处理方法同时具有几种不同的作用。例如,碎石桩具有置换、挤密、排水和加筋等多重作用;石灰桩具有又挤密土体又吸水的作用,吸水后又进一步挤密土体等。此外,还有一些地基处理方法的加固机理和计算方法目前尚不十分明确,有待进一步探讨。另外,由于地基处理方法不断地发展,其功能不断地扩大,也使其分类变得更加困难。

托换技术(或称基础托换)(underpinning)是指解决对原有建筑物的地基需要处理和基础需要加固或改建等问题,解决在原有建筑物基础下需要修建地下工程以及邻近建造新工程而影响到原有建筑物的安全等技术问题的技术总称。托换技术是一种建筑技术难度较大、费用较高、工期较长和责任性较强的特殊施工方法。它需要应用各种地基处理方法,因而将其列入本书的最后一章。

1.4 地基处理设计前的工作内容和方案选择

1.4.1 地基处理设计前的工作内容

对于建造在软弱地基上的工程而言,在选择地基处理方案、进行工程设计之前,必须首先进行相关的调查研究,完成下列工作。

(1)收集详细的岩土工程勘察资料、上部结构及基础设计资料。

包括:建筑物场地所处的地形及地质成因、地基成层情况,软弱土层厚度、不均匀性和分布范围,持力层位置的状况,地下水情况以及地基土的物理力学性质等。

建筑物的体型、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、地基稳定安全系数和变形允许值等。

各种软弱地基的性状各不相同,现场地质条件随着场地的不同也是多变的,即使是同一种土质条件,也可能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,当软弱土层较薄时,可采用简单的浅层加固方法,如换土垫层法;当软弱土层较厚时,则可以按被加固土的特性和地下水的高低而采用排水固结法、挤密桩法、振冲法或强夯法。

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

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、土工聚合物等;而对采用各种深层密实法处理淤泥质土地基时要慎重对待。

(2)根据工程的要求和采用天然地基存在的主要问题,确定地基处理的目的、处理范围和处理后要求达到的各项经济技术指标等。

(3)结合工程情况,了解当地地基处理的经验和施工条件,对于有特殊要求的工程,还应该了解其他地区相似场地上同类工程的地基处理经验和使用情况等。

1)用地条件。如果施工时占地较多,则对工程施工较为方便,但有时却会影响经济造价。

2)工期。从施工角度来讲,工期不宜太紧,这样可以有条件地选择缓慢施加荷载的堆载预压等方法,且施工期间的地基稳定性会增大。但有时工程要求缩短工期,早日完工投入使用,这样就限制了对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,就应该考虑采用砂垫层或挤密砂桩等方法的可能性;如有石料供应,就应考虑碎石垫层和碎石桩等方法。

4)其他条件。如当地某些地基处理的施工机械的有无、施工的难易程度、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法的关键因素。

(4)调查邻近建筑、地下工程和有关管线等情况。

(5)了解建筑物场地的环境情况。

在地基处理施工中应该考虑场地环境的影响。如采用强夯法和砂桩挤密法等施工时,振动和噪音会对邻近建筑物和居民产生影响和干扰;采用堆载预压法时,将会有大量的土方运进输出,既要有堆放场地,又不能妨碍交通;采用真空预压法或降水预压法时,往往会使邻近建筑物的地基产生附加沉降;采用石灰桩或灌浆法时,有时会污染周围环境。当然,施工时对场地的环境影响也不是绝对的,应慎重对待,妥善处理。

1.4.2 地基处理方案的选择

根据大量的工程实践,得到各种地基处理方法的主要适用范围和加固效果,见表 1—2。

地基处理方法的选择和确定要根据下面的步骤进行:

(1)搜集建筑物场地详细的岩土工程地质、水文地质及地基基础的设计资料;

(2)根据建筑物结构类型、荷载大小及使用要求,结合地形地貌、地层结构、土质条件、地下水特征、环境情况和对相邻建筑物的影响等因素,初步选出几种可供选择的地基处理方法,包括选择两种或多种地基处理措施组成的综合处理方案。

在选择地基处理方法时,应该同时考虑上部结构、基础和地基的共同作用,也可选用加强结构措施(如设置圈梁和沉降缝等)和处理地基相结合的方案。

表 1—2 各种地基处理方法的主要适用范围和加固效果

按处理深浅分类	序 号	处理方法	适用情况						加固效果					最大有效 处理深度 /m
			淤泥质土	人工填土	黏性土		无黏性土	湿陷性黄土	降低压缩性	提高抗剪性	形成不透水性	改善动力特性		
					饱和	非饱和								
浅层加固	1	换土垫层法	*	*	*	*		*	*	*		*	3	
	2	机械碾压法		*		*	*	*	*	*			3	
	3	平板振动法		*		*	*	*	*	*			1.5	
	4	重锤夯实法		*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.5	
	5	土工聚合物法	*	*	*				*	*	*	*		
深层加固	6	强夯法		*	*	*	*	*	*	*	*	*	30	
	7	砂桩挤密法	慎用	*	*	*	*	*	*	*	*	*	20	
	8	振动水冲法	慎用	*	*	*	*	*	*	*	*	*	18	
	9	灰土(土、二灰)桩挤密法		*		*		*	*	*		*	20	
	10	石灰桩挤密法	*		*	*			*	*			20	
	11	砂井(袋装砂井、塑料排水带)堆载预压法	*		*				*	*			15	
	12	真空预压法	*		*				*	*			15	
	13	降水预压法	*		*				*	*			30	
	14	电渗排水法	*		*				*	*			20	
	15	水泥灌浆法	*		*	*	*	*	*	*	*	*	20	
	16	硅化法	*		*	*	*	*	*	*	*	*	20	
	17	电动硅化法	*		*				*	*	*			
	18	高压喷射注浆法	*	*	*	*	*		*	*	*		20	
	19	深层搅拌法	*		*	*			*	*	*		18	
	20	粉体喷射搅拌法	*		*	*			*	*	*		13	
	21	热加固法				*		*	*	*			15	
	22	冻结法	*	*	*	*	*	*		*	*			

注:表中“*”为适用。

(3)在因地制宜的前提下,对初步选定的各种地基处理方案,分别从加固原理、适用范围、预期处理效果、耗用材料、施工机械、工期要求和环境影响等方面进行认真的技术经济分析和对比,根据安全可靠、施工方便、经济合理等原则选择最佳的地基处理方法。

值得一提的是,每一种地基处理方法都有一定的适用范围、局限性和优缺点,没有哪一种地基处理方法是万能的,必要时可以选择两种或多种地基处理方法组成的联合方法。

(4)对已选定的地基处理方法,宜按照建筑物地基基础设计的等级和场地复杂程度,在有代表性的场地上进行相应的现场试验或试验性施工,并进行必要的测试,以检验设计参数和处理效果。如达不到设计要求时,应查明原因,修改设计参数或调整地基处理方法。