



普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材

高校土木工程
专业指导委员会规划推荐教材

地基处理

浙江大学 龚晓南 编著
同济大学 叶书麟 主审



中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

地 基 处 理

浙江大学 龚晓南 编著
同济大学 叶书麟 主审

中国建筑工业出版社

本书根据高校土木工程专业指导委员会组织制定的教学大纲编写。本书主要内容包括：绪论、复合地基理论概要、振密、挤密、置换、排水固结、灌入固化物、加筋、既有建筑物地基加固、纠倾和迁移等。

本书可作为高校土木工程专业教材，也可供从事地基处理的工程技术人员参考使用。

* * *

责任编辑：王 跃 吉万旺

责任设计：董建平

责任校对：王雪竹 张 虹

前 言

改革开放促进了我国国民经济的飞速发展,自20世纪90年代以来,我国土木工程建设发展很快。为了保证工程质量,现代土木工程建设对地基提出了更高的要求。

当天然地基不能满足建(构)筑物在地基稳定性、地基变形和地基渗透性等三个方面的要求时,需要对天然地基进行地基处理,形成人工地基,以满足建(构)筑物对地基的各种要求。

在土木工程建设领域中,与上部结构相比较,地基领域中不确定的因素多、问题复杂、难度大。据调查统计,在世界各国发生的土木工程建设中的工程事故中,源自地基问题的占多数。因此,处理好地基问题,不仅关系所建工程是否安全可靠,而且关系所建工程投资的大小。

需求促进发展,实践发展理论。在工程建设的推动下,近些年来我国地基处理技术发展很快,地基处理水平不断提高。地基处理已成为活跃的土木工程领域中的一个热点。学习、总结国内外地基处理方面的经验教训,掌握各种地基处理技术,对于土木工程师,特别是对从事岩土工程的土木工程师特别重要,对保证工程质量、加快工程建设速度、节省工程建设投资、提高土木工程师的地基处理水平具有特别重要的意义。地基处理技术已得到土木工程界的各个部门,如勘察、设计、施工、监理、教学、科研和管理部门的关心和重视。

本教材根据高校土木工程专业指导委员会组织制定的教学大纲编写。全书分九章,为:绪论、复合地基理论概要、振密、挤密、置换、排水固结、灌入固化物、加筋、既有建筑物地基加固、纠倾和迁移等。教学时数各校可根据具体情况灵活确定,教学内容请注意与相关课程的配合。书中带“*”号的内容可以不作为教学内容。

在绪论中介绍地基处理目的和意义,地基处理方法分类,选用原则及规划程序等;在复合地基理论概要中简要介绍复合地基基础理论;以后几章介绍常用地基处理方法的加固机理、设计计算方法和施工工艺等。为加深理解,适当收录一些工程实例供读者参考。各章编有思考题与习题供选用。

在编写过程中作者参考和引用了许多科研、高校和工程单位的研究成果和工程实例,在成书过程中,博士研究生金小荣和孙林娜协助部分插图的制作,史海莹和张杰协助校对工作,在此一并表示衷心的感谢。

著名地基处理专家同济大学叶书麟教授担任本书的主审，作者在此表示衷心的感谢。

限于作者水平，书中难免有不妥和错误之处，敬请读者批评指正。

龚晓南

2004.12.16 于杭州景湖苑

目 录

第1章 绪论	1
1.1 地基处理的目的和意义	1
1.2 常见软弱土和不良土	2
1.3 地基处理技术发展概况	5
1.4 地基处理方法分类及适用范围	6
1.5 地基处理方法选用原则和规划程序	13
1.6 关于地基承载力表达形式的说明	15
思考题	17
第2章 复合地基理论概要	18
2.1 概述	18
2.2 桩体复合地基承载力计算	20
2.3 水平向增强体复合地基承载力计算*	24
2.4 复合地基沉降计算	25
2.5 基础刚度和垫层对桩体复合地基性状影响	29
思考题	29
第3章 振密、挤密	31
3.1 概述	31
3.2 强夯法	31
3.3 挤密砂石桩法	40
3.4 土桩、灰土桩和夯实水泥土桩法	48
3.5 孔内夯扩法概述	55
思考题与习题	56
第4章 置换	58
4.1 概述	58
4.2 换土垫层法	58
4.3 强夯置换法	64
4.4 石灰桩法	65
4.5 EPS超轻质料填土法	71
思考题与习题	74
第5章 排水固结	75
5.1 概述	75
5.2 加固原理和计算理论	76

5.3 堆载预压法	85
5.4 真空预压法	91
5.5 降低地下水位法	93
思考题与习题	94
第6章 灌入固化物	95
6.1 概述	95
6.2 深层搅拌法	95
6.3 高压喷射注浆法	110
6.4 灌浆法	117
思考题与习题	121
第7章 加筋	123
7.1 概述	123
7.2 加筋土垫层法	123
7.3 加筋土挡墙法	126
7.4 锚杆和土钉支护	129
7.5 锚定板挡土结构	135
7.6 低强度桩复合地基	136
7.7 刚性桩复合地基	144
7.8 长短桩复合地基	148
思考题与习题	156
第8章 既有建筑物地基加固	157
8.1 概述	157
8.2 基础加宽技术	158
8.3 墩式托换技术	160
8.4 桩式托换技术	160
8.5 地基加固技术	168
8.6 综合加固技术	169
思考题与习题	172
第9章 纠倾和迁移	173
9.1 概述	173
9.2 加载纠倾技术	175
9.3 掏土纠倾技术	177
9.4 顶升纠倾技术	184
9.5 迁移技术	187
思考题与习题	188
参考文献	189

第1章 绪 论

1.1 地基处理的目的和意义

改革开放促进了我国国民经济的飞速发展，自 20 世纪 90 年代以来，我国土木工程建设发展很快。土木工程功能化、城市建设立体化、交通运输高速化，以及改善综合居住条件已成为现代土木工程建设特征。为了保证工程质量，现代土木工程建设对地基提出了更高的要求。

各种建筑物和构筑物对地基的要求主要包括下述三个方面：

(1) 地基稳定性问题

地基稳定性问题是指在建（构）筑物荷载（包括静、动荷载的各种组合）作用下，地基土体能否保持稳定。地基稳定性问题有时也称为承载力问题。若地基稳定性不能满足要求，地基在建（构）筑物荷载作用下将会产生局部或整体剪切破坏。地基产生局部或整体剪切破坏将影响建（构）筑物的安全与正常使用，亦会引起建（构）筑物的破坏。地基的稳定性，或地基承载力大小，主要与地基土体的抗剪强度有关，也与基础形式、大小和埋深有关。

(2) 地基变形问题

地基变形问题是指在建（构）筑物的荷载（包括静、动荷载的各种组合）作用下，地基土体产生的变形（包括沉降，或水平位移，或不均匀沉降）是否超过相应的允许值。若地基变形超过允许值，将会影响建（构）筑物的安全与正常使用，严重的会引起建（构）筑物破坏。地基变形主要与荷载大小和地基土体的变形特性有关，也与基础形式、基础尺寸大小有关。

(3) 地基渗透问题

渗透问题主要有两类：一类是蓄水构筑物地基渗流量是否超过其允许值。如：水库坝基渗流量超过其允许值的后果是造成较大水量损失，甚至导致蓄水失败；另一类是地基中水力比降是否超过其允许值。地基中水力比降超过其允许值时，地基土会因潜蚀和管涌产生稳定性破坏，进而导致建（构）筑物破坏。地基渗透问题主要与地基中水力比降大小和土体的渗透性有关。

当天然地基不能满足建（构）筑物在上述三个方面的要求时，需要对天然地基进行地基处理。天然地基通过地基处理，形成人工地基，从而满足建（构）筑物对地基的各种要求。

随着土木工程建设规模的扩大和要求的提高，需要对天然地基进行地基处理

的工程日益增多。

在土木工程建设领域中,与上部结构比较,地基领域中不确定因素多、问题复杂、难度大。地基问题处理不好,后果严重。据调查统计,在世界各国发生的土木工程建设中的工程事故,源自地基问题的占多数。因此,处理好地基问题,不仅关系所建工程是否安全可靠,而且关系所建工程投资的大小。处理好地基问题具有较好的经济效益。

需求促进发展,实践发展理论。在工程建设的推动下,近些年来我国地基处理技术发展很快,地基处理水平不断提高,地基处理已成为活跃的土木工程领域中的一个热点。学习、总结国内外地基处理方面的经验教训,掌握各种地基处理技术,对于土木工程师,特别是对从事岩土工程的土木工程师特别重要。提高地基处理水平对保证工程质量、加快工程建设速度、节省工程建设投资具有特别重要的意义。

1.2 常见软弱土和不良土

判别天然地基是否属于软弱地基或不良地基没有明确的界限,工程师们常将不能满足建(构)筑物对地基要求的天然地基称为软弱地基或不良地基。因此,天然地基是否属于软弱地基或不良地基也可以说是相对的。

在土木工程建设中经常遇到的软弱土和不良土主要包括:软黏土、人工填土、部分砂土和粉土、湿陷性土、有机质土和泥炭土、膨胀土、盐渍土、垃圾土、多年冻土、岩溶、土洞和山区地基等。下面分别加以简略介绍:

(1) 软黏土

软黏土是软弱黏性土的简称。它是第四纪后期形成的海相、泻湖相、三角洲相、溺谷相和湖泊相的黏性土沉积物或河流冲积物。有的软黏土属于新近淤积物。软黏土大部分处于饱和状态,其天然含水量大于液限,孔隙比大于1.0。当天然孔隙比大于1.5时,称为淤泥;当天然孔隙比大于1.0而小于1.5时,称为淤泥质土。软黏土的特点是天然含水量高,天然孔隙比大,抗剪强度低,压缩系数高,渗透系数小。在荷载作用下,软黏土地基承载力低,地基沉降变形大,不均匀沉降也大,而且沉降稳定历时比较长,一般需要几年,甚至几十年。软黏土地基是在工程建设中遇到最多需要进行地基处理的软弱地基,它广泛地分布在我国沿海以及内地河流两岸和湖泊地区。例如:天津、连云港、上海、杭州、宁波、台州、温州、福州、厦门、湛江、广州、深圳、珠海等沿海地区,以及昆明、武汉、南京、马鞍山等内陆地区。

(2) 人工填土

人工填土按照物质组成和堆填方式可以分为素填土、杂填土和冲填土三类。

素填土是由碎石、砂或粉土、黏性土等一种或几种组成的填土,其中不含杂

质或含杂质较少。若经分层压实后则称为压实填土。近年开山填沟筑地、围海筑地工程较多,填土常用开山石料,大小不一,有的直径达数米,填筑厚度有的达数十米,极不均匀。人工填土地基性质取决于填土性质、压实程度以及堆填时间。

杂填土是人类活动形成的无规则堆积物,其成分复杂,性质也不相同,且无规律性。在大多数情况下,杂填土是比较疏松和不均匀的。在同一场地的不同位置,地基承载力和压缩性也可能有较大的差异。

冲填土是由水力冲填泥沙形成的填土,在围海筑地中常被采用。冲填土的性质与所冲填泥沙的来源及冲填时的水力条件有密切关系。含黏土颗粒较多的冲填土往往是欠固结的,其强度和压缩性指标都比同类天然沉积土差。以粉细砂为主的冲填土,其性质基本上和粉细砂相同。

(3) 部分砂土和粉土

主要指饱和粉砂土、饱和细砂土和砂质粉土。粒径大于 0.25mm 的颗粒不超过全重的 50%,粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重的 85% 的称为细砂土。粒径大于 0.075mm 的颗粒不超过全重的 85%,但超过 50% 称为粉砂土。粒径大于 0.075mm 的颗粒不超过全重的 50%,而粒径小于 0.005mm 的颗粒含量不超过全重的 10%,塑性指数 I_p 小于或等于 10 的称为砂质粉土。处于饱和状态的细砂土、粉砂土和砂质粉土在静载作用下虽然具有较高的强度,但在机器振动、车辆荷载、波浪或地震力的反复作用下有可能产生液化或产生大量震陷变形。地基会因地基土体液化而丧失承载能力。如需要承担动力荷载,这类地基也往往需要进行地基处理。

(4) 湿陷性土

湿陷性土包括湿陷性黄土、粉砂土和干旱或半干旱地区具有崩解性的碎石土等。是否属湿陷性土可根据野外浸水载荷试验确定。当在 200kPa 压力作用下附加变形量与载荷板宽之比大于 0.015 时称为湿陷性土。在工程建设中遇到较多的是湿陷性黄土。

湿陷性黄土是指在覆盖土层的自重应力或自重应力和建筑物附加应力综合作用下,受水浸湿后,土的结构迅速破坏,并发生显著的附加沉降,其强度也迅速降低的黄土。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地基处理以及如何处理。

(5) 有机质土和泥炭土

土中有机质含量大于 5% 时称为有机质土,大于 60% 时称为泥炭土。

土中有机质含量高,强度往往降低,压缩性增大,特别是泥炭土,其含水量极高,有时可达 200% 以上,压缩性很大,且不均匀,一般不宜作为建筑物地

基,如用作建筑物地基需要进行地基处理。

(6) 垃圾土

城市废弃的工业垃圾和生活垃圾形成的地基土。垃圾土的性质很大程度上取决于废弃垃圾的类别和堆积时间。垃圾土的性质十分复杂,垃圾土成分不仅具有区域性,而且与堆积的季节有关。生活垃圾比工业垃圾更为复杂。

垃圾堆场的地基处理也已成为岩土工程师的工作内容,不仅要保持垃圾土地基稳定,而且要解决好防止垃圾污染地下水源等环境保护问题。垃圾场的再利用也已引起人们的重视。

(7) 膨胀土

膨胀土是指黏粒成分主要由亲水性黏土矿物组成的黏性土。膨胀土在环境的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地基处理措施,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,根据现有的资料,广西、云南、湖北、河南、安徽、四川、河北、山东、陕西、江苏、内蒙古、贵州和广东等地均有不同范围的分布。

(8) 盐渍土

土中含盐量超过一定数量的土称为盐渍土。盐渍土地基浸水后,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,可能产生土体体积膨胀。除此以外,盐渍土中的盐溶液还会导致建筑物材料和市政设施材料的腐蚀,造成建筑物或市政设施的破坏。

盐渍土主要分布在西北干旱地区的地势低洼的盆地和平原中,盐渍土在滨海地区也有分布。

(9) 多年冻土

多年冻土是指温度连续三年或三年以上保持在 0°C 或以下,并含有冰的土层。多年冻土的强度和变形有许多特殊性。例如,冻土中因有冰和冰水存在,故在长期荷载作用下有强烈的流变性。多年冻土在人类活动影响下,可能产生融化。因此多年冻土作为建筑物地基需慎重考虑,需要采取必要的处理措施。

(10) 岩溶、土洞和山区地基

岩溶或称“喀斯特”,它是石灰岩、白云岩、泥灰岩、大理石、岩盐、石膏等可溶性岩层受水的化学和机械作用而形成的溶洞、溶沟、裂隙,以及由于溶洞的顶板塌落使地表产生陷穴、洼地等现象和作用的总称。

土洞是岩溶地区上覆土层被地下水冲蚀或被地下水潜蚀所形成的洞穴。

岩溶和土洞对建(构)筑物的影响很大,可能造成地面变形、地基陷落、发生水的渗漏和涌水现象。在岩溶地区修建建筑物时要特别重视岩溶和土洞的影响。

山区地基地质条件比较复杂,主要表现在地基的不均匀性和场地的稳定性两

方面。山区基岩表面起伏大,且可能有大块孤石,这些因素常会导致建筑物基础产生不均匀沉降。另外,在山区常有可能遇到滑坡、崩塌和泥石流等不良地质现象,给建(构)筑物造成直接的或潜在的威胁。在山区修建建(构)筑物时要重视地基的稳定性和避免过大的不均匀沉降,必要时需进行地基处理。

1.3 地基处理技术发展概况

地基处理是古老而又年轻的领域。灰土垫层基础和短桩处理在我国应用历史悠久,可追溯到数千年前。而大量进行的地基处理技术是伴随现代文明而产生的。在我国,改革开放促进了基本建设持续高速发展。为了适应工程建设的要求,我国地基处理技术在改革开放以来也得到了飞速发展。表 1-3-1 为部分地基处理方法在我国得到应用的最早年份。从表 1-3-1 中可以看出大部分地基处理方法是在改革开放以后才在工程建设中得到应用的。有的地基处理方法是从小国外引进的,并在工程实践中加以改造,以适应我国国情,有的则是我国工程技术人员自行研制的。

部分地基处理方法在我国应用最早年份

表 1-3-1

地基处理方法	年 份	地基处理方法	年 份
普通砂井法	20 世纪 50 年代	土工合成材料	20 世纪 70 年代末
真空预压法	1980 年	强夯置换法	1988 年
袋装砂井法	20 世纪 70 年代	EPS 超轻质填料法	1995 年
塑料排水带法	1981 年	低强度桩复合地基法	1990 年
砂桩法	20 世纪 50 年代	刚性桩复合地基法	1981 年
土桩法	20 世纪 50 年代中	锚杆静压桩法	1982 年
灰土桩	20 世纪 60 年代中	掏土纠倾法	20 世纪 60 年代初
振冲法	1977 年	顶升纠倾法	1986 年
强夯法	1978 年	树根桩法	1981 年
高压喷射注浆法	1972 年	沉管碎石桩法	1987 年
浆液深层搅拌法	1977 年	石灰桩法	1953 年
粉体深层搅拌法	1983 年		

注:表中资料引自《地基处理》,第 11 卷,第 1 期,4。

自改革开放以来,我国地基处理技术发展很快,主要反映在下述几个方面:

(1) 地基处理技术得到普及和提高

地基处理技术的普及和提高在我国发展都很快。为了满足土木工程建设对地基处理的要求,我国引进和发展了多种地基处理新技术。例如:1978 年引进强夯法技术和 1977 年引进深层搅拌法技术等。在引进处理方法的同时,也引进了

新的处理机械、新的处理材料和新的施工工艺。到目前为止,可以说,国外有的地基处理方法,我国基本上都有。各地还因地制宜地发展了许多适合我国国情的地基处理技术,取得了良好的经济效益和社会效益,如低强度桩复合地基技术和孔内夯扩技术等。我国在地基综合处理能力方面提高很快。如在澳门机场建设中,综合应用了换填法、排水固结法、振冲挤密法和碾压法等多种处理技术。近些年来,越来越多的土木工程技术人員了解和掌握了各种地基处理技术、地基处理设计方法、施工工艺、检测手段,并在实践中应用。与土木工程有关的高等院校、科研单位积极开展地基处理技术的研究、开发、推广和应用。地基问题处理恰当与否关系到整个工程的质量、投资和进度,其重要性已越来越多地被人们所认识。

通过工程实践,人们对各种地基处理方法的优缺点有了进一步了解,对采用合理的地基处理规划程序有了较深刻的认识,在根据工程实际选用合理的地基处理方法方面减少了盲目性。

(2) 地基处理队伍不断扩大

地基处理技术发展还反映在地基处理队伍的不断扩大。从事地基处理施工的专业队伍不断增加,很多土建施工单位也从事地基处理施工。除施工队伍外,从事地基处理机械生产的企业发展也很快。在地基处理施工机械方面,与国外的差距在逐步减小,并研制了许多新产品。

(3) 地基处理理论的发展

我国地基处理发展还反映在理论上的进步。在探讨加固机理、改进施工机械和施工工艺、发展检验手段、提高处理效果、改进设计方法等方面,每一种地基处理方法都取得不少进展。除了针对一类地基处理方法的理论得到发展外,对一些共同性规律研究也取得不少成果。特别是复合地基理论发展很快。复合地基概念从狭义复合地基发展到广义复合地基,形成了较系统的广义复合地基理论。

总之,地基处理技术在我国得到广泛的普及,地基处理水平得到不断提高。地基处理技术已得到土木工程界的各个部门,如勘察、设计、施工、监理、教学、科研和管理部门的关心和重视。地基处理技术的进步带来了巨大的经济效益和社会效益。

1.4 地基处理方法分类及适用范围

对地基处理方法进行严格的统一分类是很困难的。地基处理方法分类的原则也很多。事实上,根据同一原则进行分类,不同的专家也有不同的方法。不少地基处理方法具有多种效用,例如土桩和灰土桩既有挤密作用又有置换作用。另外,还有一些地基处理方法的加固机理以及计算方法目前还不是十分明确,尚需进一步探讨。而且,地基处理方法也在不断发展,功能不断扩大,也使地基处理

方法分类变得更加困难。还有地基处理方法分类也不宜太细,类别太多。

下面根据地基处理的加固原理,将地基处理方法分为六类,再加上已有建筑物地基加固、纠倾和迁移,共八类,作一介绍:

(1) 置换

置换是指用物理力学性质较好的岩土材料置换天然地基中部分或全部软弱土体,以形成双层地基或复合地基,达到提高地基承载力、减少沉降的目的。

加固原理主要属于置换的地基处理方法有:换土垫层法、挤淤置换法、褥垫法、砂石桩置换法、强夯置换法等地基处理方法。采用石灰桩法加固地基具有多种效用,其中也有置换效用,故也将它包括在这一部分。另外,气泡混合轻质料填土法和 EPS 超轻质料填土法一般不是用于置换,主要用于填方。采用轻质填料代替比较重的填料。为了叙述方便,将气泡混合轻质料填土法和 EPS 超轻质料填土法也包括在这一部分。

(2) 排水固结

排水固结是指土体在一定荷载作用下排水固结,孔隙比减小,抗剪强度提高,以达到提高地基承载力,减少工后沉降的目的。

加固原理主要属于排水固结的地基处理方法按预压加载方法可分为:堆载预压法、超载预压法、真空预压法、真空预压与堆载预压联合作用法、电渗法,以及降低地下水位法等。属于排水固结的地基处理方法按在地基中设置竖向排水系统可分为:普通砂井法、袋装砂井法和塑料排水带法等。

(3) 灌入固化物

灌入固化物是指向土体中灌入或拌入水泥、石灰、其他化学固化浆材,在地基中形成增强体,以达到地基处理的目的。

加固原理主要属于灌入固化物的地基处理方法有:深层搅拌法、高压喷射注浆法、渗入性灌浆法、劈裂灌浆法、挤密灌浆法等。

(4) 振密、挤密

振密、挤密是指采用振动或挤密的方法使地基土体密实以达到提高地基承载力和减少沉降的目的。

加固原理主要属于振密、挤密的地基处理方法有:表层原位压实法、强夯法、振冲密实法、挤密砂石桩法、爆破挤密法、土桩和灰土桩法、夯实水泥土桩法、柱锤冲扩桩法、孔内夯扩法等。

(5) 加筋

加筋是在地基中设置强度高、模量大的筋材,如:土工格栅、土工织物等,以达到提高地基承载力、减少沉降的目的。

加固原理主要属于加筋的地基处理方法有:加筋土垫层法、加筋土挡墙法和土钉墙法等。为了叙述方便,将锚杆支护法、锚定板挡土结构、树根桩法、低强度混凝土桩复合地基和钢筋混凝土桩复合地基法等加固方法也包括在这一部分。

(6) 冷热处理

冷热处理是通过冻结地基土体,或焙烧、加热地基土体以改变土体物理力学性质达到地基处理的目的。

加固原理主要属于冷热处理的地基处理方法有:冻结法和烧结法两种。

(7) 托换

托换是指对已有建筑物地基和基础进行处理和加固。

托换技术有:基础加宽技术、桩式托换技术、地基加固技术以及综合加固技术等。

(8) 纠倾和迁移

纠倾是指对由于沉降不均匀造成倾斜的建筑物进行矫正。

纠倾技术有:加载纠倾法、掏土纠倾技术、顶升纠倾技术和综合纠倾技术等。

迁移是将已有建筑物从原来的位置移到新的位置。

各类地基处理方法的简要原理和适用范围如表 1-4-1 所列。

地基处理方法除了根据地基处理的加固原理分类以外,还可将地基处理方法分为浅层处理技术和深层处理技术两大类;也可将地基处理方法分为物理的地基处理方法、化学的地基处理方法以及生物的地基处理方法等类别。

地基处理方法分类及其适用范围

表 1-4-1

类别	方 法	简 要 原 理	适 用 范 围
置 换	换土垫层法	将软弱土或不良土开挖至一定深度,回填抗剪强度较高、压缩性较小的岩土材料,如砂、砾、石渣等,并分层夯实,形成双层地基。垫层能有效扩散基底压力,可提高地基承载力、减少沉降	各种软弱土地基
	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	淤泥或淤泥质黏土地基
	褥垫法	当建(构)筑物的地基一部分压缩性较小,而另一部分压缩性较大时,为了避免不均匀沉降,在压缩性较小的区域,通过换填法铺设一定厚度可压缩性的土料形成褥垫,以减少沉降差	建(构)筑物部分坐落在基岩上,部分坐落在土上,以及类似情况
	砂石桩置换法	利用振冲法、或沉管法,或其他方法在饱和黏性土地基中成孔,在孔内填入砂石料,形成砂石桩。砂石桩置换部分地基土体,形成复合地基,以提高承载力,减小沉降	黏性土地基,因承载力提高幅度小,工后沉降大,已很少应用
	强夯置换法	采用边填碎石边强夯的方法在地基中形成碎石墩体,由碎石墩、墩间土以及碎石垫层形成复合地基,以提高承载力,减小沉降	粉砂土和软黏土地基等

续表

类别	方 法	简 要 原 理	适 用 范 围
置 换	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,可提高地基承载力,减少沉降	杂填土、软黏土地基
	气泡混合轻质料填土法	气泡混合轻质料的重度为 $5 \sim 12 \text{ kN/m}^3$, 具有较好的强度和压缩性能,用作路堤填料可有效减小作用在地基上的荷载,也可减小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) 重度只有土的 $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{50}$, 并具有较好的强度和压缩性能,用作填料,可有效减小作用在地基上的荷载,减小作用在挡土结构上的侧压力,需要时也可置换部分地基土,以达到更好的效果	软弱地基上的填方工程
排 水 固 结	堆 载 预压法	在地基中设置排水通道——砂垫层和竖向排水系统 (竖向排水系统通常有普通砂井、袋装砂井、塑料排水带等),以缩小土体固结排水距离,地基在预压荷载作用下排水固结,地基产生变形,地基土强度提高。卸去预压荷载后再建造建 (构) 筑物,地基承载力提高,工后沉降小	软黏土、杂填土、泥炭土地基等
	超 载 预压法	原理基本上与堆载预压法相同,不同之处是其预压荷载大于设计使用荷载。超载预压不仅可减少工后固结沉降,还可消除部分工后次固结沉降	同上
	真 空 预压法	在软黏土地基中设置排水体系 (同堆载预压法),然后在上面形成一不透气层 (覆盖不透气密封膜,或其他措施),通过对排水体系进行长时间不断抽气抽水,在地基中形成负压区,而使软黏土地基产生排水固结,达到提高地基承载力,减小工后沉降的目的	软黏土地基
	真空预压法与堆载预压法联合作用	当真空预压法达不到设计要求时,可与堆载预压联合使用,两者的加固效果可叠加	同上
	电 渗 法	在地基中形成直流电场,在电场作用下,地基土体产生排水固结,达到提高地基承载力,减小工后沉降的目的	同上
	降低地下水位法	通过降低地下水位,改变地基土受力状态,其效果如堆载预压,使地基土产生排水固结,达到加固目的	砂性土或透水性较好的软黏土层

续表

类别	方 法	简 要 原 理	适 用 范 围
灌入 固 化 物	深 层 搅 拌 法	利用深层搅拌机将水泥浆或水泥粉和地基土原位搅拌形成圆柱状、格栅状或连续墙水泥土增强体,形成复合地基以提高地基承载力,减小沉降,也常用它形成水泥土防渗帷幕。深层搅拌法分喷浆搅拌法和喷粉搅拌法两种	淤泥、淤泥质土、黏性土和粉土等软土地基,有机质含量较高时应通过试验确定适用性
	高压喷射 注浆法	利用高压喷射专用机械,在地基中通过高压喷射流冲切土体,用浆液置换部分土体,形成水泥土增强体。按喷射流组成型式,高压喷射注浆法有单管法、二重管法、三重管法。按施工工艺可形成定喷、摆喷和旋喷。高压喷射注浆法可形成复合地基以提高承载力,减少沉降,也常用它形成水泥土防渗帷幕	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,当含有较多的大块石,或地下水流速较快,或有机质含量较高时应通过试验确定适用性
	渗入性 灌浆法	在灌浆压力作用下,将浆液灌入地基中以填充原有孔隙,改善土体的物理力学性质	中砂、粗砂、砾石地基
	劈 裂 灌浆法	在灌浆压力作用下,浆液克服地基土中初始应力和土的抗拉强度,使地基中原有的孔隙或裂隙扩张,用浆液填充新形成的裂缝和孔隙,改善土体的物理力学性质	岩基或砂、砂砾石、黏性土地基
	挤 密 灌浆法	在灌浆压力作用下,向土层中压入浓浆液,在地基形成浆泡,挤压周围土体。通过压密和置换改善地基性能。在灌浆过程中因浆液的挤压作用可产生辐射状上抬力,引起地面隆起	常用于可压缩性地基,排水条件较好的黏性土地基
振 密 挤 密	表层原位 压实法	采用人工或机械夯实、碾压或振动,使土体密实。密实范围较浅,常用于分层填筑	杂填土、疏松无黏性土、非饱和黏性土、湿陷性黄土等地基的浅层处理
	强夯法	采用重量为10~40t的夯锤从高处自由落下,地基土体在强夯的冲击力和振动力作用下密实,可提高地基承载力,减少沉降	碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土,湿陷性黄土、杂填土和素填土等地基
	振 冲 密实法	一方面依靠振冲器的振动使饱和砂层发生液化,砂颗粒重新排列孔隙减小,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,减小沉降,并提高地基土体抗液化能力。振冲密实法可加回填料也可不加回填料。加回填料,又称为振冲挤密碎石桩法	黏粒含量小于10%的疏松砂性土地基
	挤密砂 石桩法	采用振动沉管法等在地基中设置碎石桩,在制桩过程中对周围土层产生挤密作用。被挤密的桩间土和密实的砂石桩形成砂石桩复合地基,达到提高地基承载力,减小沉降的目的	砂土地基、非饱和粘性土地基