

应用型本科院校**土木工程**专业系列教材
YINGYONGXING BENKE YUANXIAO
TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI



TUMU GONGCHENG

地基处理

代国忠 齐宏伟 □ 主 编
史贵才 蔺 刚 □ 副主编
朱 凡 □ 主 审



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

应用

专业系列教材

BENKE YUANXIAO

TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI



TUMU GONGCHENG

地基处理

代国忠 齐宏伟 ■ 主 编

史贵才 蔺 刚 ■ 副主编

朱 凡 ■ 主 审

李雄威 金其军 徐 志 ■ 参 编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书较系统地介绍了各类地基处理方法,包括换填垫层法、强夯法和强夯置换法、排水固结法、复合地基理论、挤密桩法、水泥粉煤灰碎石桩法、夯实水泥土桩法、柱锤冲扩桩法、水泥土搅拌法、高压喷射注浆法、灌浆法、加筋法、特殊土地基处理、既有建筑地基基础加固等的基本原理、设计计算、施工技术、质量检验和工程应用实例等。本书密切结合应用型本科人才培养目标的要求,突出教材的实用性和综合应用性,涉及地基处理的工程设计和施工部分均依照我国现行规范进行编写,主要章节附有例题及习题。

本书主要作为普通高等学校土木工程专业(建筑工程、路桥工程、岩土工程等)本科的教学用书,亦可供其他专业师生及有关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

地基处理/代国忠,齐宏伟主编. —重庆:重庆大学出版社,2010.1

(应用型本科院校土木工程专业系列教材)

ISBN 978-7-5624-4969-0

I. 地… II. ①代…②齐… 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(2009)第 124426 号

应用型本科院校土木工程专业系列教材

地基处理

主 编 代国忠 齐宏伟

副主编 史贵才 蔺 刚

主 审 朱 凡

责任编辑:刘颖果 版式设计:林青山

责任校对:邹 忌 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆科情印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:20.5 字数:512 千

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-4969-0 定价:31.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

本书是应用型本科院校土木工程专业系列教材之一。本书密切结合《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)及公路、铁路等相关技术规范的要求,较系统地介绍国内外常用地基处理方法和新技术应用成果,内容包括换填垫层法、强夯法和强夯置换法、排水固结法、复合地基理论、挤密桩法(包括碎石桩和砂桩、石灰桩、土桩和灰土桩)、水泥粉煤灰碎石桩法、夯实水泥土桩法、柱锤冲扩桩法、水泥土搅拌法、高压喷射注浆法、灌浆法、加筋法、特殊土地基处理、既有建筑地基基础加固等地基处理方法。

本书力求内容充实、先进和创新,文字通俗易懂、简明扼要,结构布局合理,体现精炼理论、突出实用性、重视案例教学的特点。书中各章节在讲清基本概念、加固地基原理的基础上,着重阐述各类地基处理方法的设计计算、施工技术、质量检验和工程应用实例等方面内容,且主要章节后均附有习题。

本书主要作为普通高等学校土木工程专业(建筑工程、路桥工程、岩土工程等)本科的教学用书,计划授课时数50左右。本书亦可供其他专业师生及工程技术人员学习参考。

本书由常州工学院代国忠教授和华北科技学院齐宏伟副教授担任主编,重庆大学朱凡教授担任主审。代国忠教授负责编写本书大纲,并编写第1、2、3、4、9、10、11、15章;齐宏伟副教授编写第5、7、8章;常州工学院史贵才副教授编写第6章,并参加第10章编写工作;吉林大学应用技术学院蔺刚副教授编写第13、14章;常州工学院李雄威博士编写第12章,并参加第4章编写工作;华东冶金地质勘查局金其军(常州工学院特聘副教授)参加第14、15章编写工作,徐志工程师参加第6、11章编写工作。

限于编者水平有限,书中错误或不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2009年8月

目 录

1 绪论	1
1.1 地基处理的目的和意义	1
1.2 地基处理方法的分类及适用范围	5
1.3 地基处理方案的选择原则	6
1.4 地基处理监测与质量检验方法	7
1.5 地基处理技术发展概况	8
1.6 地基处理课程性质、任务和学习要求	11
2 换填垫层法	12
2.1 概述	12
2.2 加固机理	13
2.3 设计计算	16
2.4 施工技术	20
2.5 质量检验	24
2.6 工程应用实例	25
习题	26
3 强夯法和强夯置换法	27
3.1 概述	27
3.2 加固机理	29
3.3 设计计算	31
3.4 施工技术	37
3.5 质量检验	39



3.6 工程应用实例	40
习题	43
4 排水固结法	44
4.1 概述	44
4.2 加固原理和计算理论	46
4.3 堆载预压法设计计算	52
4.4 真空预压法设计计算	59
4.5 施工技术	61
4.6 质量检验	66
4.7 工程应用实例	67
习题	71
5 复合地基理论	72
5.1 概述	72
5.2 竖向增强体复合地基承载力计算	75
5.3 水平向增强体复合地基承载力计算	79
5.4 复合地基沉降计算方法	81
5.5 多元复合地基法	84
5.6 工程应用实例	87
习题	89
6 挤密桩法	90
6.1 概述	90
6.2 碎石桩和砂桩	91
6.3 石灰桩	110
6.4 灰土挤密桩和土挤密桩	121
习题	128
7 水泥粉煤灰碎石桩法	129
7.1 概述	129
7.2 加固机理	131
7.3 设计计算	134
7.4 施工技术	139
7.5 质量检验	141
7.6 工程应用实例	142
习题	147
8 夯实水泥土桩法	149
8.1 概述	149
8.2 加固机理	150
8.3 设计计算	152
8.4 施工技术	153

8.5	质量检验	156
8.6	工程应用实例	156
	习题	158
9	柱锤冲扩桩法	159
9.1	概述	159
9.2	作用机理	161
9.3	设计计算	165
9.4	施工技术	167
9.5	质量检验	171
9.6	工程应用实例	172
	习题	173
10	水泥土搅拌法	174
10.1	概述	174
10.2	加固机理	177
10.3	设计计算	182
10.4	施工技术	188
10.5	质量检验	191
10.6	工程应用实例	192
	习题	196
11	高压喷射注浆法	197
11.1	概述	197
11.2	加固机理	201
11.3	设计计算	207
11.4	施工技术	211
11.5	质量检验	217
11.6	工程应用实例	218
	习题	222
12	灌浆法	223
12.1	概述	223
12.2	灌浆材料	225
12.3	灌浆方式与加固原理	231
12.4	设计计算	233
12.5	施工技术	241
12.6	灌浆质量与灌浆效果检验	244
12.7	工程应用实例	245
	习题	248
13	加筋法	249
13.1	概述	249



13.2	土钉墙	251
13.3	加筋土挡墙	256
13.4	锚定板挡土结构	261
13.5	土工合成材料	263
	习题	268
14	特殊土地基处理	269
14.1	湿陷性黄土地基处理	269
14.2	膨胀土地基处理	274
14.3	冻土地基处理	279
14.4	液化土地基处理	284
	习题	288
15	既有建筑地基基础加固	289
15.1	概述	289
15.2	基础加宽技术	290
15.3	墩式托换技术	293
15.4	桩式托换技术	294
15.5	增层改造	300
15.6	纠倾加固和移位	303
15.7	工程应用实例	311
	习题	316
	参考文献	317



1

绪 论

1.1 地基处理的目的和意义

1) 地基处理的含义

地基是指直接承受建筑物荷载的那一部分地层。对地质条件良好的地基,可直接在其上修筑建筑物而无需事先对其进行加固处理,此种地基称为天然地基。

在工程建设中,有时会不可避免地遇到地质条件不良或软弱地基,在这样的地基上修筑建筑物,则不能满足其设计和正常使用的要求。同时随着建筑物高度的不断增高,建筑物的荷载日益增大,对地基变形的要求也越来越严格,因而,即使原可被评价为良好的地基,也可能在特定的条件下必须进行地基加固。这些需经人工加固后才可在其上修筑建筑物的地基称为人工地基。

地基处理就是指对不能满足承载力和变形要求的软弱地基进行人工处理,亦称之为地基加固。软弱地基和特殊土是地基处理的对象。

对地基进行加固(或改良)称之为地基处理(Ground Treatment or Ground Improvement)。当地基中设置了散体材料(如碎石、砂等)桩或柔性材料(如水泥土、石灰等)桩后,这些桩体将与天然地基一起共同承受上部荷载,抵抗变形,形成复合地基。

2) 建筑物地基可能面临的问题

(1) 地基承载力及稳定性问题 地基承载力较低,将不能承担上部结构的自重及外荷载,导致地基失稳,出现局部或整体剪切破坏,或冲剪破坏。



(2) 沉降变形问题 高压缩性地基可能导致建筑物发生过的沉降量,使其失去使用效能;地基不均匀或荷载不均匀将导致地基沉降不均匀,使建筑物倾斜、开裂、局部破坏,失去使用效能甚至发生整体破坏。

(3) 地基渗透破坏问题 土具有渗透性,当地基中出现渗流时,可能导致流土(流砂)和管涌(潜蚀)现象,严重时能使地基失稳、崩溃。

(4) 动荷载下的地基液化、失稳和震陷问题 饱和无黏性土地基具有振动液化的特性。在地震、机器振动、爆炸冲击、波浪等动荷载作用下,地基可能因液化、震陷导致地基失稳破坏;软黏土在振动作用下,亦会产生震陷。

针对上述所遇到的地基问题,必须采取一定的措施使地基满足设计要求和使用要求,如:调整基础设计方案;调整上部结构设计方案;对地基进行加固处理,形成人工地基。

3) 地基处理的目的

地基处理的目的就是通过采用各种地基处理方法,改善地基土的下述工程性质,以期满足工程设计的要

(1) 提高地基土的抗剪强度 地基承载力、土压力及人工和自然边坡的稳定性,主要取决于土的抗剪强度。因此,为了防止土体剪切破坏,需要采取一定措施,提高和增加地基土的抗剪强度。

(2) 改善地基土的压缩性 建筑物超过允许值的倾斜、差异沉降将影响建筑物的正常使用,甚至危及建筑物的安全性。地基土的压缩模量等指标是反映其压缩性的重要指标,通过地基处理,可改善地基土的压缩模量等压缩性指标,减少建筑物沉降和不均匀沉降,同时也可防止土体侧向流动(塑性流动)产生的剪切变形。

(3) 改善地基土的渗透特性 地下水在地基土中运动时,将引起堤坝等地基的渗漏现象;基坑开挖过程中,也会因土层夹有薄层粉砂或粉土而产生流砂和管涌。这些都会造成地基承载力下降、沉降加大和边坡失稳,而渗漏、流砂和管涌等现象均与土的渗透特性密切相关。为此,必须采用某种(些)地基处理措施,一是增加地基土的透水性加快固结,二是降低透水性或减少其水压力(基坑抗渗透)。

(4) 改善地基土的动力特性 在地震运动、交通荷载以及打桩和机器振动等动力荷载作用下,将会使饱和松散的砂土和粉土产生液化,或使邻近地基产生振动下沉,造成地基土承载力丧失,或影响邻近建筑物的正常使用甚至破坏。因此,工程中有时需采取一定的措施,防止地基土液化,并改善其动力特性,提高地基的抗震(振)性能。

(5) 改善特殊土地基的不良特性 特殊土地基有其不良特性,如黄土的湿陷性、膨胀土的胀缩性和冻土的冻胀性等。因此,在特殊土地基上修筑建筑物时,需要采取一定的措施,以减小不良特性对工程的影响。

4) 软弱地基

我国地域广阔,地基土的类型多种多样,存在许多软弱地基和特殊土地基。《建筑地基基础规范》(GB 50007—2002)规定:软弱地基系指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土和其他高压缩性土所构成的地基。

(1) 软黏土 软黏土也称软土,是软弱黏性土的简称。它形成于第四纪晚期,属于海相、

泻湖相、河谷相、湖沼相、三角洲相等的黏性土沉积物或河流冲积物。软黏土多分布于沿海、河流中下游或湖泊附近地区。如上海、广州等地为三角洲相沉积,温州、宁波地区为滨海相沉积,闽江口平原为溺谷相沉积等。也有的软黏土属新近沉积物。常见的软弱黏土是淤泥质土。软土的物理力学性质如下:

①物理性质:黏粒含量较多,塑性指数 I_p 一般大于17,属黏性土。软黏土多呈深灰、暗绿色,有臭味,含有机质,含水量较高,一般大于40%,孔隙比一般为1.0~2.0,其中孔隙比为1.0~1.5称为淤泥质黏土,孔隙比大于1.5时称为淤泥。由于其高黏粒含量、高含水量、大孔隙比,因而其力学性质也就呈现出与之对应的特点——低强度、高压缩性、高灵敏度。

②力学性质:软黏土的强度极低,不排水强度通常仅为5~30 kPa,表现为地基承载力特征值很低,一般不超过70 kPa。软黏土尤其是淤泥灵敏度较高,是区别于一般黏土的重要指标。软黏土的压缩性很大,压缩系数大于 0.5 MPa^{-1} ,最大可达 4.5 MPa^{-1} ,压缩指数为0.35~0.75。通常情况下,软黏土层属于正常固结土或微超固结土,但有些土层特别是新近沉积的土层有可能属于欠固结土。

渗透系数很小是软黏土的又一重要特点,一般在 $10^{-5} \sim 10^{-8} \text{ cm/s}$,渗透系数小则固结速率很慢,有效应力增长缓慢,从而沉降稳定慢,地基强度增长也十分缓慢。这一特点是严重制约地基处理方法和处理效果的重要方面。

③工程特性:软黏土地基承载力低,强度增长缓慢,加荷后易变形且不均匀,变形速率大且变形时间长,具有渗透性小、触变性及流变性大的特点。

对于软黏土,常用的地基处理方法有预压法、置换法、搅拌法等。

(2)杂填土 杂填土主要出现在一些老的居民区和工矿区,是人们生活和生产活动所遗留或堆放的垃圾土。这些垃圾土一般分为三类,即建筑垃圾土、生活垃圾土和工业生产垃圾土。垃圾土很难用统一的强度指标、压缩指标、渗透性指标加以描述。

杂填土主要特点是无规划堆积、成分复杂、性质各异、厚薄不均、规律性差。因而同一场地可能会表现出压缩性和强度的明显差异,极易造成不均匀沉降,通常都需要进行地基处理。

(3)冲填土 冲填土是人为的用水力充填方式而沉积的土。近年来多用于沿海滩涂开发及河漫滩造地。西北地区常见的水坠坝(也称冲填坝)即是冲填土堆筑的坝。冲填土形成的地基可视为天然地基的一种。冲填土地基一般具有如下特点:

①颗粒沉积分选性明显,在入泥口附近,粗颗粒较先沉积,远离入泥口处,所沉积的颗粒变细,同时在深度方向上存在明显的层理。

②冲填土的含水量较高,一般大于液限,呈流动状态。停止冲填后,表面自然蒸发后常呈龟裂状,含水量明显降低,但当排水条件较差时下部冲填土仍呈流动状态,冲填土颗粒愈细,这种现象愈明显。

③冲填土地基早期强度很低,压缩性较大,这是因冲填土处于欠固结状态。冲填土地基随静置时间的增长逐渐达到正常固结状态。其工程性质取决于颗粒组成、均匀性、排水固结条件以及冲填后静置时间。

(4)饱和松散砂土 粉砂或细砂地基在静荷载作用下具有较高的强度,但当振动荷载(地震、机械振动等)作用时,饱和松散砂土地基则有可能产生液化或大量震陷变形,甚至丧失承载力。这是因为土颗粒松散排列并在外部动力作用下使颗粒的位置产生错位,瞬间产生较

高的超静孔隙水压力,有效应力迅速降低。对该类地基处理的目的是使它变得较为密实,消除在动荷载作用下产生液化的可能性。常用处理方法有挤密法、振冲法等。

(5)含有有机质土和泥炭土 当土中含有不同的有机质时,将形成不同的有机质土,在有机质超过一定含量时就形成泥炭土。有机质的含量越高,对土质的影响也会越大,主要表现为强度低、压缩性大,并且对不同工程材料的掺入有不同影响等,从而对工程建设和地基处理构成不利的影晌。

(6)山区地基土 山区地基土的地质条件较为复杂,主要表现在地基的不均匀性和场地不稳定性两个方面。由于自然环境和地基土的生成条件影响,场地中有可能存在大孤石,场地环境也可能存在滑坡、泥石流、边坡崩塌等不良地质现象。它们会给建筑物造成直接或潜在的威胁,对这种地基需进行处理。

5)特殊土地基

特殊土地基有地区性特点,包括湿陷性黄土、膨胀土、红黏土、盐渍土和冻土等构成的地基。

(1)湿陷性黄土 在上覆土层自重应力作用下,或者在自重应力和附加应力共同作用下,因浸水后土的结构破坏而发生显著附加变形的土称为湿陷性黄土,属于特殊土。有些杂填土也具有湿陷性。广泛分布于我国东北、西北、华中和华东部分地区的黄土多具湿陷性。湿陷性黄土又分为自重湿陷性和非自重湿陷性黄土。在湿陷性黄土地基上进行工程建设时,必须考虑因地基湿陷引起附加沉降对工程可能造成的危害,应选择适宜的地基处理方法。

(2)膨胀土 膨胀土的矿物成分主要是蒙脱石,它具有很强的亲水性,吸水时体积膨胀,失水时体积收缩。这种胀缩变形往往很大,极易对建筑物造成损坏。膨胀土在我国分布范围很广,如广西、云南、河南、湖北、四川、陕西、河北、安徽、江苏等地均有膨胀土存在。膨胀土常用的地基处理方法有换土、土性改良、预浸水,以及防止地基土含水量变化等。

(3)多年冻土 多年冻土是指温度连续3年或3年以上保持在 0°C 或 0°C 以下,并含有冰的土层。多年冻土的强度和变形有其特殊性。例如,冻土中因有冰和冰水存在,在长期荷载作用下将发生强烈的流变性。在人类活动影响下,多年冻土可能产生融化。因此,多年冻土作为建筑物地基时需慎重考虑,需要采取一些处理措施方可使用。

(4)盐渍土 通常将易溶盐含量(按质量分数计)超过0.3%的土称为盐渍土。盐渍土中的盐遇水溶解后可能会发生地基溶陷,使地基强度降低。某些盐渍土(如含 Na_2SO_4 的土)在环境温度和湿度变化时,可能产生体积膨胀。此外,盐渍土中的盐溶液还会导致地下设施的建筑材料腐蚀,造成建筑物的破坏。我国盐渍土主要分布在新疆、青海、甘肃、宁夏和内蒙古等地。

(5)垃圾填埋土地基 垃圾填埋土地基其性质取决于填埋的垃圾类别和性质。垃圾填埋土地基处理的目的之一是防止其对周围环境影响,特别是对地下水的污染;之二是垃圾填埋土地基自身的利用。

(6)岩溶、土洞和山区地基 岩溶又称“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作用和机械作用而形成的溶洞、溶沟、裂隙,以及因溶洞的顶板塌落使地表产生陷穴、洼地等现象的总称。

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

建筑物影响很大,可能造成地面变形、地基陷落、渗漏和涌水现象,需引起足够重视。

除了在上述各种软弱和特殊土地基上建造建筑物时需要考虑地基处理外,当旧房改造、增高加层、动力设备更新和道路加宽等造成荷载增大,原有地基不能满足新的要求,或对原有地基提出更高要求时,或者在开挖基坑及建造地下工程中遇到土体稳定、变形和渗流问题时,亦需要进行地基处理。地基处理也常用于减少或消除施工扰动对周围环境的影响。此外,在既有建筑物的地基基础加固和倾斜建筑物纠偏工程中也要用到地基处理的方法。

1.2 地基处理方法的分类及适用范围

地基处理方法通常有以下几种不同分类:根据处理时间,可分为临时处理和永久处理;根据处理深度,可分为浅层处理和深层处理;根据被处理土的特性,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;根据地基处理的作用机理,可分为置换处理、排水固结处理、压实和夯实处理等。

按地基处理的作用机理对地基处理方法进行分类,能充分体现各种处理方法自身的特点,较为妥当和合理。但是严格的分类是困难的,同一种处理方法可能同时起到不止一种的作用效果,很难说该处理方法属于哪一类。例如,土桩和灰土桩既有挤密作用又有置换作用。另外,有些地基处理方法的加固机理及计算方法还不是很明确,处于研究探讨阶段,加之地基处理方法在应用中不断发展与完善,其功能不断扩大,很难做到精确的分类。

根据地基处理的作用机理进行的基本分类如下:

1) 置换法

置换法是指利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,实现提高地基承载力,减少沉降的目的。

属于置换的地基处理方法具体有:换土垫层法、挤淤置换法、褥垫法、砂石桩置换法、强夯置换法、石灰桩法等。也可将气泡混合轻质料填土法和 EPS 超轻质料填土法归为置换法。

2) 排水固结法

排水固结法的基本原理是软土地基在附加荷载的作用下完成排水固结,使孔隙比减小,抗剪强度提高,以实现提高地基承载力,减少工后沉降的目的。

按预压加载方法,排水固结法又可分为: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。

按设在地基中的竖向排水系统还可分为:普通砂井法、袋装砂井法和塑料排水带法等。

3) 压实和夯实法

压实法是利用机械自重或辅以震动产生的能量对地基土进行压实。夯实法是利用机械落锤产生的能量对地基进行夯击使其密实,提高土的强度和减小压缩量。压实法包括碾压和振动碾压,夯实法包括重锤夯实和强夯。

4) 振密、挤密法

振密、挤密法是指采用振动或挤密的方法使地基土体孔隙比减小,土体密实,以实现提高

地基承载力和减少沉降的目的。属于振密、挤密的地基处理方法有：表层原位压实法、强夯法、振冲碎石桩法、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、孔内夯扩法和石灰桩法等。

5) 灌入固化物法

灌入固化物法也称为胶结法，是指向土体内灌入或拌入水泥、水泥砂浆以及石灰等化学固化物，在地基中形成加固体或增强体，以达到地基处理的目的。

灌入固化物法主要有：深层搅拌法、高压喷射注浆法、灌浆法等。灌浆法根据灌浆压力及工艺不同又可分为渗入性灌浆、劈裂灌浆、挤密灌浆和电化学灌浆等方法。

6) 加筋法

加筋法是在地基中设置强度高、弹性模量大的筋材，如土工格栅、土工织物等。加筋法主要有：加筋土垫层法、加筋土挡墙法、锚定板挡土结构、土钉法等。

7) 热学处理法

热学处理法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的地基处理方法。例如通过人工冷却软黏土（或饱和的砂土），使地基温度低到孔隙水的冰点以下，使之固化，从而达到理想的截水性能和较高的承载力。

8) 托换法

托换法是对已有建筑物地基和基础进行处理和加固的方法。常用托换技术有：基础加宽与加深技术、锚杆静压桩技术、树根桩技术、桩式托换技术、灌浆地基加固技术等。

9) 纠倾和迁移法

纠倾是指对因沉降不均匀造成倾斜的建筑物进行矫正，如加载纠倾、掏土纠倾、顶升纠倾和综合纠倾等。迁移是将已有建筑物从原来位置移到新的位置，即进行整体迁移。

1.3 地基处理方案的选择原则

地基处理方法众多，每种处理方法都有其各自的适用条件、局限性和优缺点；每种处理方法的作用通常又具有多重性，加之地基土成因复杂，性质多变，具体工程对地基的要求又不尽相同，施工机械、技术力量、施工条件和环境等千差万别，因此在选择地基处理方案时，应从实际出发，对具体的地基条件、处理要求（包括处理前后地基应达到的各项指标、处理范围、工程进度等）、工程费用以及施工机械、技术力量和材料等因素进行综合分析比较，优化、比选处理方案。在选择处理方案时还应提高环保意识，注意节约能源和保护环境，尽量避免地基处理时对地面和地下水产生污染，以及振动和噪音对周围环境的不良影响等。

选择地基处理方案前，应进行深入调查，充分收集资料。在调查、收集资料时，应考虑以下5个方面的内容：

- ①上部结构和基础设计情况。
- ②建筑场地的工程地质条件。

- ③施工用地、施工工期、工程用料来源等。
- ④施工时对周围环境的影响。
- ⑤施工单位技术力量、机具设备、施工管理水平及施工经验等。

在充分调查研究、收集资料的基础上,确定地基处理方案。方案确定的步骤如下:

①根据结构类型、荷载大小及使用要求,结合地形地貌、地层结构、工程地质及水文地质条件、环境情况和对相邻建筑的影响等因素,初步选定几种处理方案。

②对初步选定的各种地基处理方案,分别从加固机理、适用范围、预期效果、材料来源及消耗、机具条件、工期要求、施工队伍素质和对环境的影响等方面进行技术经济分析和对比,确定最优处理方案。

③对已选定的地基处理方案,根据建筑物的安全等级、施工场地的复杂程度,可在有代表性的场地上进行相应的现场实验,以验证各项设计参数,选择合理的施工方法(其目的是为了调试机具设备、确定施工工艺、用料及配比等各项施工参数)和确定处理效果。

④进行地基处理方案设计时,还应充分考虑环保问题,减小或避免对周围空气、地面和地下水的污染以及对场地周围的振动、噪音等影响。

1.4 地基处理监测与质量检验方法

1) 监测与质量检验的目的

- ①为工程设计提供依据。
- ②作为大面积施工的指导和控制标准。
- ③检验设计参数和处理效果,为地基处理工程验收提供依据。
- ④为采取补救措施或修改地基加固设计方案提供依据。
- ⑤为理论研究提供试验数据。

2) 监测内容与质量检验方法

①地基与桩体强度:包括单桩和复合地基静载荷试验、标准贯入试验、静力触探试验、动力触探试验、桩身高应变检测法和钻芯法等。

②地基变形:包括地基沉降与水平位移测试。

③应力监测:包括土压力和孔隙水压力测试。

④桩身完整性:采用桩身低应变检测和声波透视法测试。

⑤动力特性:采用波速测试、地基刚度测试等。

对地基处理的效果检验,应在地基处理施工结束后,经过一定时间休止恢复方可进行。这是由于地基加固有时效性,复合地基的强度和模量的提高需要有一定时间。同一地基处理往往需要采用多种测试手段加以检验,以综合评价其地基处理效果。

常用的现场测试方法的适用范围见表 1.1。

3) 地基处理现场监测与质量检验应注意的问题

- ①前后两次测试应尽可能使用同一仪器,且操作规程及标准相同。

- ②注意各种仪器及测试方法适用范围,并结合现场条件及测试项目选择测试方法。
- ③一般采用两种以上测试方法,对地基处理效果进行综合评价。
- ④测点位置应选择有代表性部位,并按有关规范规程标准进行测试操作。
- ⑤现场测试应与室内试验相结合,以增强测试结果的互补性。

表 1.1 常用的现场测试方法的适用范围

地基处理方法	现场测试方法												
	平板载荷试验	沉降观测	水平位移观测	十字板剪切试验	静力触探	动力触探	标准贯入试验	孔隙水压力测试	桩载荷试验	旁压试验	桩基动力测试	波速法	螺旋压板试验
换 填	○	○	×	×	○	○	○	×	×	△	×	○	△
振冲碎石桩	○	○	×	×	○	△	○	○	△	△	×	○	×
强夯置换	○	○	△	×	×	○	○	△	×	×	×	×	×
砂石桩(置换)	○	○	×	△	○	△	△	○	×	△	×	○	×
石灰桩	○	○	△	△	○	△	△	×	△	△	×	○	△
加载预压	○	○	△	△	○	△	○	△	×	△	×	○	○
超载预压	○	○	△	△	○	△	○	△	×	△	×	○	○
真空预压	○	○	△	○	○	△	○	○	×	○	×	○	○
水泥土搅拌桩	○	○	×	○	×	×	×	×	△	△	△	○	△
高压喷射注浆	○	○	×	×	×	×	×	×	×	△	△	△	×
灌 浆	○	○	×	×	×	×	×	×	×	△	×	△	×
强 夯	○	○	○	×	○	△	○	○	×	○	×	○	△
表面夯实	○	○	△	×	○	△	○	×	×	×	×	○	○
振冲密实	○	○	△	×	○	△	○	○	△	△	×	○	×
挤密砂石桩	○	○	△	△	○	△	○	○	△	△	×	○	×
土桩、灰土桩	○	○	△	×	△	△	△	×	×	△	×	×	×
加筋土	○	○	○	△	△	×	△	×	×	△	×	△	△

注:“○”为一般适用,“△”为有时适用,“×”为不适用。

1.5 地基处理技术发展概况

地基处理技术在我国的应用可以追溯到古代,我国劳动人民在处理地基方面有着丰富的经验,根据历史记载,2 000 多年以前就已采用软土中夯入碎石等压密土层的夯实法,以及采

用灰土和三合土的换土垫层法。

近 30 年以来,我国土木工程建设迎来了飞快发展时期,地基处理技术也相应快速发展,一些传统的地基处理方法得到改进,新的地基处理方法不断涌现。我国目前应用的大部分地基处理技术是改革开放以后发展或引进的,先后从国外引进了高压喷射注浆法、振冲法、强夯法、深层搅拌法、土工合成材料法等许多地基处理方法,并在实践中得到了改进和发展。许多已经在我国得到应用的地基处理技术,如排水固结法、土桩和灰土桩法、砂桩法、换填法等也得到很大发展与改进。近些年来,我国在工程实践中发展了许多新的地基处理技术,如真空-堆载预压法、水泥粉煤灰碎石桩(Cement-Flyash-Gravel Pile,简称 CFG 桩)、复合地基法、夯实水泥土桩法、泡沫苯乙烯(Expanded Polystyrene,简称 EPS)超轻质填料法、强夯置换法、锚杆静压桩法、孔内夯扩碎石桩法等。我国一些地基处理方法开始应用的最早时间统计见表 1.2。

地基处理技术的发展推动了施工机械、工程材料、设计计算理论、施工工艺、监测技术等方面的不断发展与提高;反之,施工机械等方面的发展又促进了地基处理技术的发展。

表 1.2 我国一些地基处理方法开始应用的最早时间统计

地基处理方法	最早使用年份	地基处理方法	最早使用年份
EPS 超轻质填料法	1995 年	强夯法	1978 年
CFG 桩法	1991 年	浆液深层搅拌法	1977 年
低强度桩复合地基法	1990 年	振冲法	1977 年
强夯置换法	1988 年	高压喷射注浆法	1972 年
沉管碎石桩法	1987 年	土工合成材料法	20 世纪 70 年代末
顶升纠偏法	1986 年	袋装砂井法	20 世纪 70 年代
粉体喷射搅拌法	1983 年	灰土桩法	20 世纪 60 年代中
锚杆静压桩法	1982 年	掏土纠偏法	20 世纪 60 年代初
树根桩法	1981 年	土桩法	20 世纪 50 年代中
刚性桩复合地基法	1981 年	砂桩法	20 世纪 50 年代
塑料排水带法	1981 年	普通砂井法	20 世纪 50 年代
真空预压法	1980 年	石灰桩法	1953 年

近些年来,地基处理的施工机械发展很快。如:强夯机械向系列化和标准化方向发展;深层搅拌机产品型号不断更新,从单轴搅拌机、固定双轴搅拌机发展到可变距双轴深层搅拌机、三轴深层搅拌机、四轴深层搅拌机,以及浆液和粉体同时喷射深层搅拌机,搅拌深度已从 14 m 提高到 30 m,成桩直径(或单次成墙宽度)不断扩大;高压喷射注浆机械发展也很快,研制成功了许多新型高压喷射注浆设备,继单管法、双管法、三管法及多管法之后,又研制出了新型双管法,并由液压传动代替机械传动,改进了气、水、浆液的输送装置,提高了喷射压力和冲切搅拌能力;应用于排水固结法的塑料排水带插带机的出现使工作效率大幅提高,使插带深度超过了 30 m;振冲法施工机械发展也很快,振冲器最大功率已达 135 kW,振密砂层达 26 m 深;干法振动成孔器的研制成功,使干法振动碎石技术得以应用,解决了振动水冲法施工中排