

岩土加固技术与方法

吴立 左清军 李建锋 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

国家自然科学基金项目(No. 41402259)

湖北省自然科学基金重点项目(No. 2013CFA110)

资助

岩土加固技术与方法

吴立 左清军 李建锋 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

岩土加固技术与方法/吴立,左清军,李建锋编著. —武汉:武汉大学出版社, 2015.6

ISBN 978-7-307-15651-7

I. 岩… II. ①吴… ②左… ③李… III. 岩土工程—加固 IV. TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 083931 号

责任编辑:邓瑶 黄孝莉

责任校对:王慧平

装帧设计:吴极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:湖北睿智印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:22.5 字数:534千字

版次:2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷

ISBN 978-7-307-15651-7

定价:43.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

近年来,岩土加固技术与方法广泛应用于水电工程、公路工程、铁路工程、建筑工程、矿山工程等领域,解决了大量工程病害和工程难题,并在岩土加固基本理论、设计方法和施工工艺等方面取得了突破和创新,形成了一系列成套的岩土加固新理论、新技术和新方法。

本书编著人员在参阅大量国内外研究资料的基础上,结合多年从事岩土加固工程的实践经验,编著了本书。本书以工程应用为出发点,系统地介绍了一系列常规岩土加固技术的基本理论、设计方法和施工工艺,包括:换填加固、强夯加固、深层搅拌法加固、排水固结加固、化学加固、锚喷支护加固、格栅管棚与超前锚杆支护加固、边坡坡体加固、边坡病害工程加固、劲芯水泥土桩复合地基加固、超高压喷射注浆加固、锚杆静压加固,以及新奥法与监控量测等内容,并归纳总结了近年来新兴的岩土加固技术与方法。与其他同类书籍相比,本书既强调对加固机理的探究,又注重对工程实例的分析。因此,理论与实践并重是本书的主要特点。

本书由中国地质大学(武汉)吴立、三峡大学左清军、福建省平潭综合实验区交通与建设工程质量安全监督站李建锋编著。具体编写分工为:第1~4章由李建锋编写;第6、7、11、12、13章由吴立编写;第5、8、9、10章由左清军编写;绪论、第14章由吴立和左清军共同编写。全书由吴立、左清军统稿。博士研究生李波、袁青及硕士研究生邓星、宋万鹏、陈剑、肖润杰、杨光、韩旭、周伟参与了图形绘制、文字输入和校对工作。

本书可作为高等学校土木工程、地质工程专业的本科生和研究生教学用书,也可供从事土木工程、地质工程设计、施工、科研等方面的工程技术人员参考。

由于本书编著人员水平有限,书中难免存在错误和不当之处,竭诚希望读者不吝赐教。

本书的出版得到了国家自然科学基金项目(No. 41402259)和湖北省自然科学基金重点项目(No. 2013CFA110)的资助。

编著者

2015年1月

目 录

0 绪论	(1)
0.1 地基加固的目的及意义	(1)
0.2 地下洞室加固的目的及意义	(3)
0.3 边坡加固的目的及意义	(4)
独立思考	(4)
1 换填加固	(5)
1.1 概述	(5)
1.2 压实原理	(6)
1.3 垫层设计	(8)
1.4 垫层施工	(12)
1.5 工程实例	(15)
独立思考	(18)
2 强夯加固	(19)
2.1 强夯法的产生及发展	(19)
2.2 强夯法的特性	(20)
2.3 强夯加固机理	(21)
2.4 强夯室内试验与现场试验	(25)
2.5 强夯加固地基的设计与施工	(27)
2.5.1 强夯设计	(27)
2.5.2 强夯施工	(30)
2.6 强夯法加固地基的工程应用	(36)
2.7 工程实例——动力(强夯)排水固结法的研究与应用	(38)
独立思考	(46)
3 深层搅拌法加固	(47)
3.1 概述	(47)

3.2	深层搅拌法的加固原理	(48)
3.3	常用机具设备类型及性能	(51)
3.4	深层搅拌法加固设计	(55)
3.4.1	设计准备工作	(55)
3.4.2	粉体喷射深层搅拌法加固设计	(58)
3.4.3	水泥搅拌桩的设计	(64)
3.5	深层搅拌法施工	(65)
3.6	质量控制与检验	(68)
3.7	工程实例——昆明某小区民用住宅软土地基深层搅拌法加固工程	(72)
	独立思考	(78)
4	排水固结加固	(79)
4.1	概述	(79)
4.2	排水系统	(80)
4.3	排水固结法的加固原理	(81)
4.4	排水固结法设计计算	(82)
4.5	堆载预压法设计计算	(86)
4.6	其他方法简介	(89)
4.7	施工方法	(92)
4.8	质量检验	(96)
4.9	工程实例	(98)
4.9.1	工程实例一——砂井地基堆载预压技术的应用	(98)
4.9.2	工程实例二——广州外国语学校地基真空预压加固处理	(100)
	独立思考	(101)
5	化学加固	(102)
5.1	压力灌浆法	(102)
5.2	高压喷射注浆	(108)
5.2.1	概述	(108)
5.2.2	加固机理	(111)
5.2.3	设计计算	(117)
5.2.4	施工方法	(125)
5.2.5	质量检验	(128)
5.3	土工合成材料法	(129)
5.4	工程实例——公路路基的土工合成材料加固处理	(135)
	独立思考	(137)

6 锚喷支护加固	(138)
6.1 锚杆	(138)
6.2 喷射混凝土	(140)
6.3 锚喷支护的特点与作用原理	(150)
6.4 锚喷支护类型	(156)
6.5 锚喷支护设计	(157)
6.5.1 概述	(157)
6.5.2 工程类比法设计	(158)
6.5.3 理论分析法设计	(164)
6.6 隧洞喷射混凝土厚度的计算	(175)
独立思考	(176)
7 格栅管棚与超前锚杆支护加固	(177)
7.1 概述	(177)
7.2 管棚法的原理及应用	(177)
7.3 管棚法的施工工艺	(178)
7.4 钢拱架锚喷网联合支护	(182)
7.5 锚杆和小导管超前支护技术	(182)
7.6 工程实例	(186)
7.6.1 工程实例一——格栅钢拱架、锚杆加固隧道膨胀围岩	(186)
7.6.2 工程实例二——钢拱架湿喷综合技术加固隧道塌方	(187)
7.6.3 工程实例三——洞内+洞外综合处治方案加固隧道塌方	(192)
独立思考	(198)
8 边坡坡体加固	(199)
8.1 锚杆	(199)
8.2 预应力锚索	(203)
8.2.1 锚索结构	(203)
8.2.2 预应力设计计算	(205)
8.2.3 预应力锚索地梁	(211)
8.2.4 锚索施工	(217)
8.3 抗滑桩	(219)
8.3.1 基本原理	(219)
8.3.2 工程设计	(220)
8.3.3 施工流程	(233)
8.4 SNS 柔性安全防护系统	(237)
8.4.1 SNS 主动防护系统	(238)

8.4.2	SNS 被动防护系统	(240)
8.5	工程实例——SNS 主动防护系统在获青公路边坡治理工程中的应用	(244)
	独立思考	(248)
9	边坡病害工程加固	(249)
9.1	预应力锚索框架加固措施	(249)
9.2	预应力锚索抗滑桩加固措施	(253)
9.3	锚杆框架加固措施	(258)
9.4	抗滑桩加固措施	(260)
9.5	抗滑挡墙加固措施	(264)
9.6	工程实例——高速公路边坡病害加固治理工程	(267)
9.6.1	工程概况	(267)
9.6.2	边坡变形破坏过程	(268)
9.6.3	加固措施	(272)
	独立思考	(274)
10	劲芯水泥土桩复合地基加固	(275)
10.1	概述	(275)
10.2	混凝土芯水泥土组合桩复合地基设计计算	(277)
10.2.1	基本要求	(277)
10.2.2	复合地基承载力计算	(279)
10.2.3	变形计算	(281)
10.3	混凝土芯水泥土组合桩施工	(281)
10.4	混凝土芯水泥土组合桩质量检验、承载力检测及工程验收	(284)
10.5	工程实例	(286)
10.5.1	工程实例一——天津市红桥区房地产交易大厦复合地基设计	(286)
10.5.2	工程实例二——劲芯水泥土桩加固处理上海某住宅小区地基工程	(288)
	独立思考	(289)
11	超高压喷射注浆加固	(290)
11.1	概述	(290)
11.2	超高压喷射注浆工艺的应用范围	(291)
11.3	超高压喷射注浆加固地基的原理和方法	(292)
11.4	超高压喷射注浆工艺的优化类型	(293)
11.5	工程实例——上海芙蓉江路泵站及调蓄池基坑帷幕及地基加固工程	(296)
	独立思考	(301)

12 锚杆静压加固·····	(302)
12.1 概述·····	(302)
12.2 锚杆静压加固地基的设计与施工·····	(303)
12.3 工程实例——锚杆静压加固在住宅楼改造工程中的应用·····	(309)
独立思考·····	(312)
13 新奥法与监控量测·····	(313)
13.1 新奥法的发展·····	(313)
13.2 新奥法的基本思想与主要原则·····	(313)
13.3 现场量测计划·····	(316)
13.4 现场量测·····	(321)
13.5 量测数据的整理与处理·····	(323)
13.5.1 量测数据的整理·····	(323)
13.5.2 量测数据的处理·····	(326)
13.6 量测数据的反馈与应用(经验法)·····	(328)
13.7 工程实例——隧道工程监控量测数据非线性回归分析·····	(333)
独立思考·····	(335)
14 岩土加固新技术与方法概述·····	(336)
14.1 软土固化新技术·····	(336)
14.2 墩式强夯置换新技术·····	(336)
14.3 高真空击密工法·····	(337)
14.4 高能量冲击压实和全液压快速夯实新技术·····	(337)
14.5 柱锤冲扩桩新技术·····	(338)
14.6 无填料振冲加固粉细砂新技术·····	(338)
14.7 高喷插芯组合桩新技术·····	(338)
14.8 三岔双向挤扩灌注桩新技术·····	(339)
14.9 基础工程逆作法·····	(339)
14.10 桩基承载力检测的自平衡试验法·····	(340)
14.11 土工格栅新技术·····	(340)
14.12 三维地质成像新技术·····	(341)
14.13 大直径现浇混凝土薄壁筒桩新技术·····	(341)
独立思考·····	(342)
参考文献·····	(343)

0 绪 论

近年来,随着城市开发与建设、矿山开采和一些大型水利水电工程建设的快速发展,我国岩土工程技术发展迅速,形成了一系列成套的、比较完善的支护与加固技术,大大促进了岩土工程技术的应用与发展,解决了大量工程实际问题。

岩体和土体是与工程建设密切相关的地质体,在工程建设过程中,需要查明建设场地岩土的性质,合理利用场地岩土作为工程建(构)筑物的地基、围岩和构成材料,有时还需要有效地改善场地岩土的工程性质,使之满足工程建设要求。

岩土加固的目的在于改善岩土的性质。从广义来讲,凡是可以改善岩土性质的工程措施都属于岩土加固的范畴。它所包含的内容是十分广泛的。由于工程对象和问题的不同,岩土加固的具体要求也不同,但总的来说,它主要用于解决以下几个方面的问题:

- ① 减弱岩土的渗透性;
- ② 改善岩土的变形性能;
- ③ 提高岩土的强度和稳定性。

一般来说,根据不同的工程性质和用途来确定岩土加固方法。有时,可针对某一问题而采取相应的加固措施,但某种加固方法可能同时取得综合性的效果。因此,在实际工程中,这几个方面的问题往往是相互联系的,只不过有时各有侧重而已。例如,作为大坝坝基的岩体,各种结构面的存在可能对大坝的抗滑稳定性造成不利影响,也可能因其不均匀变形或渗透水流的作用对大坝的安全造成威胁。对大坝坝基岩体进行灌浆处理,可以提高岩体的完整性和强度,并堵塞渗水通道,从而取得了综合性的加固效果。

0.1 地基加固的目的及意义 >>>

任何建筑物都离不开地球,建筑物的全部荷载都由地球的表面地层来承受,承受这些建筑物荷载的地层称为地基,与地基接触并将荷载传递给地基的结构物称为基础。正确解决工程中的地基基础问题,其根本目的在于保证工程的质量,使工程结构物能安全、正常地使用。

地基是指在土或岩层中修建建筑物时,承受建筑物全部重量的那部分土和岩层。建筑物的地基所面临的问题有以下四个方面:① 强度及稳定性问题;② 压缩及不均匀沉降问题;③ 渗漏问题;④ 液化问题。当建筑物的天然地基存在上述四类问题之一或其中几个

时,即需采取地基处理措施以保证建筑物的安全与正常使用。地基与建筑物的关系极为密切,而地基问题常常是造成工程事故的主要原因。

基础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。基础处于上部结构的荷载及地基反力的共同作用下,承受由此而产生的内力(轴力、剪力和弯矩)。此外,基础底面的反力又作为地基上的荷载,使地基土产生应力和变形。地基和基础的设计往往不可截然分割开来,基础设计时,除需保证基础结构本身具有足够的刚度外,还需选择合理的基础尺寸和布置方案,使地基的强度和变形满足规范的要求。

凡是基础直接建造在未经加固的天然土层上的地基称为天然地基。若天然地基很柔弱,不能满足地基强度和变形等要求,则要事先经过人工处理后再建造基础,这种地基加固称为地基处理。

我国地域辽阔,从沿海到内地,由山区到平原,分布着多种多样的地基土,其抗剪强度、压缩性以及透水性等因土的种类不同而可能有很大的差别,地基条件区域性较强。因此,地基基础这门学科特别复杂。随着我国经济的发展,结构物荷载的日益增大,不仅要实现选择地质条件良好的地基,而且对变形的要求也越来越严,因而原来一般可被评价为良好的地基,在特定条件下也可能非进行地基处理不可。因此,不仅要针对不同的地基条件、不同的结构物选定最合适的基础形式、尺寸和布置方案,还要善于选取最恰当的地基处理方法。

地基处理的目的是利用换填、夯实、挤密、排水、胶结、加筋和热学等方法对地基土进行加固,用以改良地基土的工程特性。

(1) 提高地基的抗剪强度

地基的剪切破坏表现为:建筑物地基的承载力不变;偏心荷载及侧向土压力的作用,使结构物失稳;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,就需要采取一定措施增加地基土的抗剪强度。

(2) 降低地基的压缩性

地基的压缩性表现为:建筑物的沉降和差异沉降大;填土或建筑物荷载,使地基产生固结沉降;作用于建筑物基础上的负摩擦力引起建筑物沉降;大范围的地基沉降和不均匀沉降;基坑开挖引起邻近地面沉降;降水使地基产生固结沉降。地基的压缩性反映在地基土压缩模量指标的大小上。因此,需要采取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。

(3) 改善地基的透水性

地基的透水性表现为:堤坝等基础产生地基渗漏;基础开挖工程中,因土层内夹薄层粉砂或粉土而发生流砂和管涌。这些都是地下水运动过程中所出现的问题。为此,必须采取措施降低地基土的透水性或减小其水压力。

(4) 改善地基的动力特性

地基的动力特性表现为:地震时饱和松散粉细砂(包括部分粉土)将发生液化;由于交通荷载或打桩等原因,邻近地基产生振动下沉。因此,需要采取措施防止地基液化,并改善其动力特性以提高地基的抗震性能。

(5) 改善特殊土的不良地基特性

其主要是消除或降低黄土的湿陷性和膨胀土的膨胀性等。

地基处理的对象是软弱地基和特殊土地基。《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)中规定:软弱地基是指主要由淤泥、淤泥质土、充填土、杂填土或其他高压缩性土层构成的地基。特殊土地基大部分带有地区特点,包括软土、湿陷性黄土、膨胀土、红黏土和冻土等。

0.2 地下洞室加固的目的及意义 >>>

岩土加固施工可在地下洞室内进行,如为了保证地下工程的正常使用和安全施工,对有可能失稳的围岩进行加固,保持和提高围岩的承载能力与稳定性。在地下工程中,在洞室内对围岩进行加固的方法常称为井巷支护。

在地下洞室工程中,根据现代支护理论的观点,围岩是承载的主体,一切方法、手段和措施都要以维持围岩稳定为目的。支护与围岩组成统一的复合承载体,在围岩-支护体系中,要最大限度地利用和发挥围岩的自承能力,主要依靠围岩自身维护隧洞,以便获得隧洞工程最安全、最经济的效果。

近年来,地下洞室工程病害问题日益突出,其主要病害形式为严重渗漏水,结构衬砌的腐蚀、裂损等。因此,需要将各种结构补强措施和工程防排水措施综合应用,使加固后的地下结构使用功能和安全性得以恢复。对于隧道工程,目前最新加固措施如下。

(1) 小导管超前注浆加固

小导管超前注浆加固是浅埋暗挖隧道的软弱围岩施工中非常重要的手段之一。小导管不但起到了超前管棚的作用,而且通过注浆工艺改善了围岩的自稳能力。此技术对隧道开挖防坍、防塌、控制围岩变形及地表沉降具有明显的加固作用。

(2) 回填注浆加固

隧道的回填注浆具有堵水、加固结构、改善结构受力条件和控制地层沉降等多重作用。根据回填作用部位和目的的不同,回填注浆又可分为初期支护回填注浆和二次衬砌背后回填注浆。

(3) 湿喷混凝土加固

湿喷混凝土加固具有粉尘少、回弹少、水灰比可控、一次喷射混凝土较厚等优点。其对隧道开挖产生的围岩变形有明显的抑制作用。

此外,地下结构还可以通过对隧道衬砌后围岩不密实区注浆进行加固,采用注浆补强、贴碳纤维布和型钢等手段有效抑制裂缝发展,充分利用原有衬砌的结构承载能力。新增三衬混凝土结构需进行永久加固,并进行验证,使计算后的衬砌结构满足安全系数的要求。对地下工程涉及的地下水进行防、排、截、堵综合整治,地下结构的加固以不破坏原有体系为原则。

0.3 边坡加固的目的及意义 >>>

随着人口剧增和土地资源的过度开发,边坡问题已经成为同地震和火山并列的全球性三大地质灾害(源)之一。边坡的滑塌频率远远大于地震和火山的发生频率,其造成的损失比地震和火山灾害所造成的损失大得多。因此,对导致边坡失稳的关键原因进行分析,并在此基础上找到预防与加固治理的有效技术手段十分重要。

20世纪80年代,我国公路建设主要为低级道路建设,没有进行大量的高削低填工程,边坡加固技术处于相对落后水平。20世纪90年代,国民经济迅速发展,公路、高速公路、铁路、隧道及城市地铁工程大量建设,滑坡、崩塌、地面沉降、地面塌陷等治理工程不断优化,边坡加固技术发展进入核心时期。跨入21世纪后,新型的高架桥、高铁、地下商场等重大工程的成功建设,将边坡加固技术推上了新的台阶。

边坡加固主要可以分为两类:支挡工程、护坡工程。

(1) 支挡工程

《铁路路基支挡结构设计规范》(TB 10025—2006)将边坡加固支挡工程分为重力式挡土墙、衡重式挡土墙、卸荷板、悬臂式挡土墙、扶壁式挡土墙、锚杆挡土墙、锚碇板挡土墙、加筋土挡土墙、抗滑桩、桩板式挡土墙、土钉墙、预应力锚索等。

(2) 护坡工程

护坡坡体加固主要是指锚杆喷射混凝土、拱式网格防护、预制块铺砌防护、干(浆)砌片(块)石防护、植草防护等。

随着工程建设的迅速发展,岩土加固技术的应用领域必将不断扩大,但同时,现有的加固技术也将无法满足不断发展的工程实践的要求。因此,应大力推进岩土加固技术理论研究和工程实践的发展与创新,更好地为工程服务。此外,岩土加固的各种方法都具有自身的特点,因此在选择加固方法时,应综合考虑工程的实际情况,对施工条件、加固效果、安全性及经济性等各个方面进行深入分析。

独立思考

- 0-1 岩土加固主要解决哪几个基本问题?
- 0-2 建筑物地基所面临的工程问题主要有哪些?地基加固的目的和意义是什么?
- 0-3 常见的地下洞室加固措施有哪些?
- 0-4 边坡加固的类型包括哪些?

1 换填加固

1.1 概 述 >>>

当软弱土地基的承载能力和变形满足不了建筑物的要求,而软弱土层的厚度又不是很大时,将基础底面以下处理范围内软弱土层的部分或全部挖去,然后分层换填强度较大的砂(碎石、素土、灰土、高炉干渣、粉煤灰)或其他性能稳定、无侵蚀性的材料,并压(夯、振)实至要求的密实度为止,这种地基处理的方法称为换填法。它还包括低洼地域筑高(平整场地)或堆填筑高(道路地基)。

机械碾压、重锤夯实、平板振动可根据压(夯、振)实垫层的不同机具选用。这些施工方法不但可处理回填层,而且可加固地基表层土。

按回填材料不同,垫层可分为:砂垫层、碎石垫层、素土垫层、灰土垫层、二灰垫层、干渣垫层和粉煤灰垫层等。

《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)规定:换填法适用于淤泥、淤泥质土、湿陷性黄土、素填土、杂填土地基及暗塘等的浅层处理,其适用范围见表 1-1。

表 1-1 垫层的适用范围

垫层类型		适用范围
砂(砂石、碎石)垫层		多用于中小型建筑工程的浜、塘、沟等的局部处理,适用于一般饱和、非饱和的软弱土和下水黄土地基处理,不宜用于湿陷性黄土地基,也不宜用于大面积堆载、密集基础和动力基础的软土地基处理,还不宜用于有地下水,且流速快、流量大的地基处理,不宜用粉细砂做垫层
土垫层	素土垫层	适用于中小型工程及大面积回填、湿陷性黄土地基处理
	灰土或二灰垫层	适用于中小型工程,尤其适用于湿陷性黄土地基处理
粉煤灰垫层		用于厂房、机场、港区陆域和堆场等大、中、小工程的大面积填筑,在地下水位以下时,其强度降低幅度在 30%左右
干渣垫层		用于中小型建筑工程,尤其适用于地坪、堆场等工程大面积的地基处理和场地平整,铁路、道路地基处理等。但对于受酸性或碱性废水影响的地基不得用于干渣地基

虽然不同材料的垫层,其应力分布稍有差异,但根据实验结果分析,其极限承载能力还

是比较接近的;通过沉降观测资料发现,不同材料垫层的特点基本相似,故可将各材料的垫层设计都近似地按砂垫层的计算方法进行计算。当对湿陷性黄土、膨胀土、季节性冻土等某些特殊土采用换土垫层处理时,为了消除地基土的湿陷性、膨胀性和冻胀性,在设计时需考虑和解决问题的关键也应有所不同。

大面积填土产生的大范围地面荷载影响深度较大,地基土的压缩变形量大,沉降延续时间长,与换填法浅层处理地基的特点不同,因而进行大面积填土地基的设计和施工时,地面堆载应力求平衡,避免大量、迅速、集中堆载,并根据使用要求、堆载特点、结构类型和地质条件确定允许堆载的大小和范围。堆载不宜压在基础上,应在基础施工前不少于三个月完成大面积填土。

通常基坑开挖后,利用分层回填压实,虽也可处理较深的软弱土层,但经常由于地下水位而需要采取降水措施;坑壁放坡占地面积大或需要基坑支护;施工土方量大、弃土多等因素而使处理费用增高、工期拖长。因此,换填法的处理深度通常宜控制在 3 m 以内,但也不宜小于 0.5 m,因为垫层太薄,换土垫层的作用就不显著。

在国外,也有将换填法归属于“压实”的地基处理范畴。“压实”可认为是由于排除空气而使孔隙减小,因此它不同于“固结”,“固结”是由于排除孔隙水而使孔隙体积减小。换填后将土层压实,就增加了土的抗剪强度,降低了渗透性和压缩性,减弱了液化势,并增加了抗冲刷能力。

1.2 压实原理 >>>

当黏性土的土样含水量较小,其粒间引力较大,在一定的外部压实功能作用下,还不能有效地克服引力而使土粒产生相对移动时,压实效果就比较差。当增大土样含水量时,结合水膜逐渐增厚,减小了引力,土粒在相同压实功能条件下易于移动而挤密,所以压实效果较好。但当土样含水量增大到一定程度后,孔隙中就出现了自由水,结合水膜的扩大作用不大,因此引力的减小就显著,此时自由水填充在孔隙中,从而产生了阻止土粒移动的作用,使压实效果又趋于下降。因此,在设计时要选择一个“最优含水量”,这就是土的压实原理。

在工程实践中,对垫层的碾压质量进行检验时,要求能获得填土的最大干密度 ρ_{dmax} ,其最大干密度可用室内击实试验确定。在标准的击实方法条件下,对于不同含水量的土样,可得到不同的干密度 ρ_d ,从而绘制干密度 ρ_d 和制备含水量 w 的关系曲线。在曲线上, ρ_d 的峰值即为最大干密度 ρ_{dmax} ,与之相对应的制备含水量为最优含水量 w_{op} 。如图 1-1 所示,图中理论曲线高于实际曲线是由于理论曲线是在假定土中空气全部排出,孔隙完全被水所占据的条件下导出的,但事实上,空气不可能完全排出,因此实际的干密度就比理论值小。

上述分析是对某一特定压实功能而言的,如果改变压实功能,则曲线的基本形态不变,但曲线位置却发生移动,当增大压实功能时,最大干密度增大,最优含水量却减小,如图 1-2 所示。亦即压实功能越大,则越容易克服粒间引力,因此在较大含水量下可达更大的密实程度。

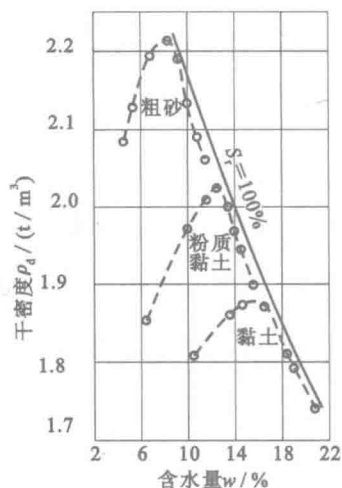


图 1-1 砂土和黏土的击实试验曲线

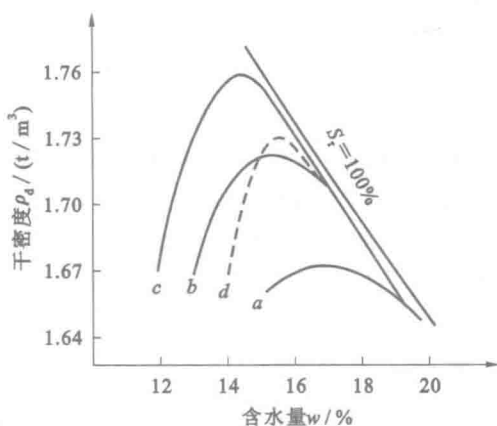


图 1-2 不同压实功能下土体干密度和含水率的关系曲线

a—碾压 6 遍；b—碾压 12 遍；c—碾压 24 遍；

d—室内击实试验； S_r —饱和度

相同的压实功能对不同土料的压实效果并不完全相同，黏粒含量愈多的土，土粒间的引力就愈大，只有在比较大的含水量时，才能达到最大干密度的压实状态，如图 1-1 所示。

击实试验是用锤击方法使土的密度增加，以模拟现场压实土的室内试验。实际上，击实试验的土样在有侧限的击实筒内，不可能发生侧向位移，力作用在有限体积的整个土体上，且夯击均匀，在最优含水量状态下可获得最大干密度。而现场施工的土料、土块大小不一，含水量和铺填厚度又很难控制均匀，实际压实土的均质性差。因此，现场土的压实，应以压实系数 λ_c (土的控制干密度 ρ_d 与最大干密度 ρ_{dmax} 之比) 和施工含水量 (以最优含水量 w_{op} 控制) 来进行检验。

垫层的作用主要有以下几方面。

(1) 提高地基承载能力

浅基础的地基承载能力与持力层的抗剪强度有关。如果以抗剪强度较高的砂或其他填充材料代替上部软弱土层，就可以减少这部分的沉降量，提高地基的承载能力，避免地基破坏。

(2) 减少沉降量

地基浅层部分沉降量在总沉降量中所占的比例一般是比较大的。以条形基础为例，在相对于基础宽度的深度范围内的沉降量约占总沉降量的 50%。由于砂垫层或其他垫层对应力的扩散作用，作用在下卧层土上的压力较小，这样也会相应减少下卧土的沉降量。

(3) 加速软弱土层的排水固结

建筑物的不透水基础直接与软弱土层相接触时，在荷载的作用下，软弱土层地基中的水被迫绕基础两侧排出，因而使基础底下的软弱土不易固结，形成较大的孔隙水压力，还可能因地基强度降低而发生塑性破坏。砂垫层和砂石垫层等垫层材料透水性大，软弱土层受压后，垫层作为良好的排水面，可以使基础下面的孔隙水压力迅速消除，加速垫层下软弱土层的固结和提高其强度，避免地基土发生塑性破坏。

(4) 防止冻胀

由于粗颗粒的垫层材料孔隙大,不易产生毛细管现象,因此可以防止寒冷地区土中结冰所造成的冻胀。这时砂垫层的底面应满足当地冻结深度的要求。

(5) 消除膨胀土的胀缩作用

为防止膨胀土冻结,可选用砂、碎石、块石、煤渣、二灰或灰土等材料作为垫层,但垫层厚度应依据变形计算确定,一般不小于 0.3 m,且垫层宽度应大于基础宽度,而基础的两侧宜用与垫层相同的材料回填。

至于一般在钢筋混凝土基础下采用的 0.1~0.3 cm 厚的混凝土垫层,主要是用作基础的找平层和隔离层,并为基础绑扎钢筋和建立木模等工序施工提供方便。这仅是一种施工措施,不属于地基处理范畴。

1.3 垫层设计 >>>

(1) 砂(或砂石、碎石)垫层设计

对砂垫层进行设计时,既要求有足够的厚度以置换可能被剪切破坏的软弱土层,又要求有足够的宽度,以防止砂垫层向两侧挤出。

① 垫层厚度的确定。

垫层厚度 Z (图 1-3)应根据垫层底部下卧土层的承载力确定,并符合下式要求:

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (1-1)$$

式中 p_z ——垫层底面处的附加应力设计值, kPa;

p_{cz} ——垫层底面处土的自重压力标准值, kPa;

f_{az} ——经深度修正后垫层底面处土层的地基承载力设计值, kPa。

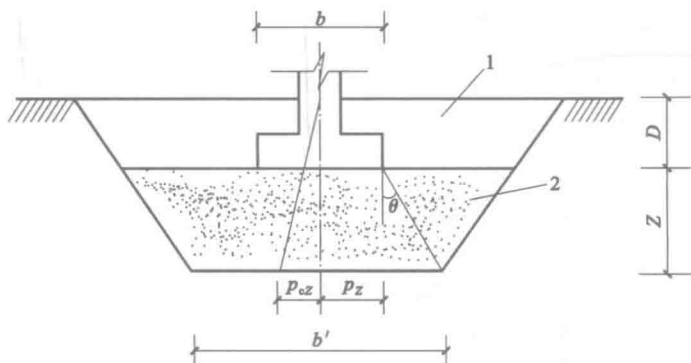


图 1-3 垫层内应力分布

1—回填土;2—砂垫层

垫层底面处的附加应力值 p_z 可按压力扩散角进行简化计算: