

建筑工程施工与质量验收系列丛书

— DIJICHUGONGCHENG —

建筑地基基础工程

施工与质量验收实用手册

本书编委会 编



中国建材工业出版社



建筑地基基础工程施工与质量验收 实 用 手 册

本书编委会 编
卢小文 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑地基基础工程施工与质量验收实用手册/《建筑工程施工与质量验收系列丛书》编委会编. —北京:中国建材工业出版社, 2004. 2

(建筑工程施工与质量验收系列丛书)

ISBN 7 - 80159 - 551 - 3

I. 建... II. 建... III. ①地基—基础(工程)—工程施工—技术手册②地基—基础(工程)—工程验收—技术手册 IV. TU753 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 009533 号

责任编辑:王大义

建筑地基基础工程施工与质量验收实用手册

本书编委会 编

卢小文 主编

出版发行:中国建材工业出版社

地址:北京西城区车公庄大街 6 号院 3 号楼

邮编:100044

经销:全国各地新华书店

印刷:北京通州京华印刷制版厂

开本:787mm × 1092mm 1/16

印张:50.5

字数:1167 千字

版次:2004 年 2 月第 1 版

印次:2004 年 2 月第 1 次

印数:1 ~ 4000 册

书号:ISBN 7 - 80159 - 551 - 3/TU · 283

定价:100.00 元

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)68345931

内 容 提 要

本书以《建筑工程施工质量验收统一标准》(GB 50300 - 2001)、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202 - 2002)为准绳,结合现行的设计、施工标准编写而成。手册主要介绍地基与基础工程的施工与质量验收,全书共分十章阐述,包括:概述、地基、桩基础、土方工程、基坑工程、混凝土基础、砌体基础、地下防水、工程建设标准强制性条文、分部(子分部)工程验收等。全书阐述内容均按照规范的结构组织要求,充分体现“验评分离、强化验收、完善手段、过程控制”的宗旨。鉴于混凝土基础与砌体基础施工在工程建设中仍然是采用地比较多的两类基础,虽然规范中没有将其纳入,本书也作了简要介绍;此外,地基基础的施工往往伴随着地下防水施工,因此,本书将地下防水专作一章进行介绍,希望能使读者了解地基基础工程的同时,也能学习地下防水的相关知识,使本书内容更加完善。

本书适合从事建筑工程施工的施工队长、工长、施工员、班组长、质检员、安全员使用;也可供专业的地基基础施工部门作工作指导;同时也是企业加强质量管理,贯彻实施新规范的重要参考资料。

本书编委会成员

主 审 龚克崇 沈从周

主 编 卢小文

副 主 编 潘旭亮 弈 勇

编写人员	邓 明	葛晓红	刘庆莲	李良红
	卢小文	潘旭亮	瞿义勇	王景文
	吴成英	弈 勇	郑大勇	

前 言

地基基础工程在建筑工程中占有极为重要的地位,这不仅因为地基基础工程的施工是整个工程开始的第一个分部工程,而且,地基基础工程的施工质量将直接影响着建筑物结构安全和使用寿命,从工程建设投资来看,地基基础造价要占到全部建筑造价的 $1/5 \sim 1/3$,施工工期约占整个工程工期的 $1/2 \sim 1/3$ 。此外,地基与基础工程也是建筑施工技术最为复杂、难度最大的分部工程。由此可见,地基基础工程在工程建设中所处地位的重要性。

近年来,我国国民经济建设持续迅猛发展,城市建筑日益增多,对地基基础工程的建设也倍受关注与重视。选择合理的施工工序与工艺,制定有效的技术和安全措施,不仅能高效低耗地完成工程建设,也是工程质量的有力保障。

本书主要根据《建筑工程施工质量验收统一标准》(GB 50300-2001)、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202-2002)编写完成。内容按照规范的体例进行组织,全书共分十章,阐述了地基、桩基础、土方工程、基坑工程的特点、材料、施工、质量验收等。此外,对施工中常见的混凝土基础、砌体基础也作了必要介绍。由于地基基础工程施工过程中,往往与地下防水相关联,因此,本书用了部分篇幅对地下防水施工进行了阐述。

本书按照新规范“验评分离、强化验收、完善手段、过程控制”的指导思想编写。全书体例新颖,内容翔实,实践性与实用性并重,可供从事土建工程施工的工程技术人员使用,也可供专业地基基础施工企业与工程施工人员参考。

我们希望本书的出版,能给广大读者有所裨益。尽管我们作了很大努力,但由于水平所限,加之编写时间仓促,书中缺点及错误在所难免,恳请广大读者批评指正!

编 者

2004年2月

目 录

第一章 概 述

第一节 地基基础与建筑结构的

关系 (1)

一、基础与上部结构的共同作用 (1)

二、地基与基础的共同作用 (1)

三、地基、基础与上部结构的
共同作用 (1)

第二节 地基土的工程性质及

分类 (2)

一、土的基本物理性质 (2)

二、土的力学性能指标 (9)

三、地基土的分类 (12)

第三节 工程地质勘探方法及

要求 (17)

一、坑探法 (18)

二、铲探法 (18)

三、钻探法 (22)

四、触探法 (25)

五、现场静荷载试验方法 (28)

六、地基与基础施工勘察要点 (31)

第四节 《建筑地基基础工程施工

质量验收规范》简介 (32)

一、《规范》编制目的和要求 (32)

二、术语和基本规定 (33)

三、新《规范》修订介绍 (34)

四、“十六字方针”内容及理解 (35)

第二章 地 基

第一节 概 述 (38)

一、地基分类及其特点 (38)

二、软弱地基 (42)

三、常见不良地基的类型 (42)

四、地基基础事故案例 (43)

第二节 灰土地基 (46)

一、灰土地基的特点 (46)

二、施工材料要求 (47)

三、施工过程质量控制 (47)

四、应注意的质量问题 (48)

五、工程施工质量验收 (48)

第三节 砂和砂石地基 (51)

一、砂和砂石地基的特点 (51)

二、施工材料要求 (51)

三、施工过程质量控制 (51)

四、应注意的质量问题 (52)

五、工程施工质量验收 (53)

第四节 土工合成材料地基 (55)

一、土工合成材料及其特点 (55)

二、施工材料要求 (58)

三、施工过程质量控制 (58)

四、工程施工质量验收 (60)

第五节 粉煤灰地基 (63)

一、粉煤灰地基的特点 (63)

二、施工材料要求 (64)

三、施工过程质量控制	(64)	五、应注意的质量问题	(128)
四、应注意的质量问题	(64)	六、工程施工质量验收	(128)
五、工程施工质量验收	(65)	第十一节 水泥土搅拌桩地基	(132)
第六节 强夯地基	(67)	一、水泥土搅拌桩地基的特点	(132)
一、强夯法及其应用	(67)	二、施工材料要求	(132)
二、强夯地基的加固机理	(69)	三、水泥土搅拌桩地基施工	(133)
三、施工过程质量控制	(71)	四、施工过程质量控制	(137)
四、应注意的质量问题	(77)	五、应注意的质量问题	(138)
五、工程施工质量验收	(78)	六、工程施工质量验收	(138)
第七节 注浆地基	(80)	第十二节 土和灰土挤密桩 复合地基	(142)
一、注浆地基的特点	(80)	一、土和灰土挤密桩复合地基的 特点	(142)
二、注浆施工分类	(81)	二、施工材料要求	(142)
三、注浆材料类型及选择	(82)	三、土和灰土挤密桩复合地基施工	(143)
四、施工过程质量控制	(87)	四、应注意的质量问题	(150)
五、应注意的质量问题	(87)	五、工程施工质量验收	(150)
六、工程施工质量验收	(87)	第十三节 水泥粉煤灰碎石桩 复合地基	(153)
第八节 预压地基	(90)	一、水泥粉煤灰碎石桩复合地基的 特点	(153)
一、预压地基的特点	(90)	二、施工材料要求	(154)
二、施工材料要求	(91)	三、水泥粉煤灰碎石桩施工	(155)
三、堆载预压法施工	(92)	四、施工过程质量控制	(158)
四、真空预压法施工	(98)	五、应注意的质量问题	(159)
五、施工过程质量控制	(100)	六、工程施工质量验收	(159)
六、应注意的质量问题	(102)	第十四节 夯实水泥土桩 复合地基	(163)
七、工程施工质量验收	(102)	一、夯实水泥土桩复合地基的特点	(163)
第九节 振冲地基	(106)	二、施工材料要求	(163)
一、振冲地基的特点	(106)	三、夯实水泥土桩复合地基施工	(163)
二、振冲地基加固机理	(106)	四、施工过程质量控制	(164)
三、振冲地基施工要求	(108)	五、应注意的质量问题	(164)
四、施工过程质量控制	(115)	六、工程施工质量验收	(164)
五、应注意的质量问题	(115)	第十五节 砂桩地基	(168)
六、工程施工质量验收	(116)	一、砂桩地基的特点	(168)
第十节 高压喷射注浆地基	(120)		
一、高压喷射注浆地基的特点	(120)		
二、施工材料要求	(121)		
三、高压喷射注浆地基施工	(122)		
四、施工过程质量控制	(127)		

二、桩身材料要求·····	(168)	第五节 钢 桩·····	(245)
三、砂桩地基施工·····	(168)	一、钢桩的分类·····	(245)
四、施工过程质量控制·····	(174)	二、钢桩的制作·····	(245)
五、应注意的质量问题·····	(174)	三、钢桩的施工·····	(246)
六、工程施工质量验收·····	(174)	四、工程施工质量验收·····	(247)
第三章 桩基础		第六节 混凝土灌注桩·····	(253)
第一节 概 述·····	(178)	一、灌注桩的分类及性能·····	(253)
一、桩基的特点·····	(178)	二、灌注桩施工技术要求·····	(254)
二、桩基的应用范围·····	(179)	三、干作业成孔灌注桩·····	(257)
三、桩基础分类·····	(179)	四、泥浆护壁成孔灌注桩·····	(267)
四、桩的选择·····	(183)	五、套管成孔灌注桩·····	(286)
第二节 混凝土预制桩·····	(184)	六、夯压成孔灌注桩·····	(296)
一、预制桩的类型与制作·····	(184)	七、爆扩成孔灌注桩·····	(297)
二、桩的起吊、运输和堆放·····	(188)	八、其它特殊方法施工的灌注桩·····	(302)
三、桩的连接·····	(189)	九、工程施工质量验收·····	(303)
四、打桩机具及选择·····	(189)	第四章 土方工程	
五、预制桩施工(打桩)·····	(207)	第一节 概 述·····	(311)
六、打桩质量控制·····	(210)	一、土的工程分类·····	(311)
七、应注意的质量问题·····	(211)	二、土的工程性质·····	(312)
八、工程施工质量验收·····	(212)	第二节 场地平整与土方调配·····	(314)
第三节 先张法预应力管桩·····	(218)	一、场地设计标高的确定·····	(314)
一、预应力管桩的特点·····	(218)	二、场地平整土方工程量计算·····	(318)
二、预应力管桩的适用范围·····	(219)	三、场地平整土方调配·····	(320)
三、预应力管桩的构造与质量要求·····	(219)	四、施工中常见质量通病及防治·····	(324)
四、预应力管桩的规格与技术性能·····	(221)	第三节 土方开挖·····	(325)
五、先张法预应力混凝土管桩施工·····	(223)	一、开挖土方量计算·····	(326)
六、工程施工质量验收·····	(223)	二、降低地下水位与流砂治理·····	(327)
第四节 静力压桩·····	(227)	三、土方开挖施工机械·····	(330)
一、静力压桩的原理及特点·····	(227)	四、土方开挖要求·····	(350)
二、静力压桩机规格及性能·····	(227)	五、施工中常见质量通病及防治·····	(353)
三、静力压桩施工要求·····	(230)	六、工程施工质量验收·····	(354)
四、振动沉管桩施工·····	(231)	第四节 土方回填与压实·····	(358)
五、水冲沉桩施工·····	(236)	一、土料的选择与填筑方法·····	(358)
六、接桩及接头处理·····	(236)	二、填方压实方法与施工机械·····	(358)
七、工程施工质量验收·····	(241)	三、影响填方压实质量的因素·····	(361)

四、土方工程季节性施工要求	(363)	一、支撑系统的分类	(442)
五、施工中常见质量通病及防治	(364)	二、支撑系统构造与设计	(444)
六、工程施工质量验收	(367)	三、钢与混凝土支撑系统施工	(452)
第五节 爆破工程	(370)	四、工程施工质量控制	(455)
一、爆破基本知识	(370)	五、工程施工质量验收	(458)
二、爆破炸药	(371)	第六节 地下连续墙	(462)
三、炸药量计算	(372)	一、地下连续墙的概念	(462)
四、起爆方法	(373)	二、地下连续墙的构造	(462)
五、爆破方法	(376)	三、地下连续墙施工	(466)
六、爆破安全措施	(379)	四、工程施工质量控制	(473)

第五章 基坑工程

第一节 概 述	(381)	第七节 沉井与沉箱	(479)
一、基坑工程的内容及特点	(381)	一、沉井构造及施工	(479)
二、基坑工程支护结构分类	(385)	二、沉箱构造及施工	(484)
三、基坑工程施工准备	(387)	三、工程施工质量控制	(487)
四、基坑工程施工要求	(391)	四、工程施工质量验收	(490)
第二节 排桩墙支护工程	(394)	第八节 降水与排水	(494)
一、排桩墙支护工程结构分类	(394)	一、工程降水分类	(494)
二、排桩墙支护工程结构形式	(400)	二、轻型井点降水施工	(495)
三、排桩墙设计方法	(401)	三、其他类型井点降水施工	(502)
四、排桩墙支护工程施工	(406)	四、基坑排水	(504)
五、工程施工质量验收	(407)	五、工程施工质量控制	(511)
第三节 水泥土桩墙支护工程	(410)	六、工程施工质量验收	(513)
一、水泥土桩墙的特点及应用范围	(410)	第六章 混凝土基础	
二、水泥土桩墙施工材料	(411)	第一节 概 述	(516)
三、水泥土桩墙的设计	(414)	一、混凝土基础形式及分类	(516)
四、水泥土桩墙施工	(419)	二、混凝土基础施工材料及要求	(516)
五、工程施工质量验收	(420)	三、混凝土基础埋置深度规定	(518)
第四节 锚杆及土钉墙支护工程	(422)	第二节 条形基础	(519)
一、锚杆构造及施工	(422)	一、条形基础的特点	(519)
二、土钉墙构造及施工	(431)	二、墙下条形基础	(519)
三、土钉墙的施工	(435)	三、柱下条形基础	(519)
四、工程施工质量控制	(438)	四、条形基础施工	(521)
五、工程施工质量验收	(439)	第三节 独立基础	(522)
第五节 钢或混凝土支撑系统	(442)	一、现浇锥形基础	(522)

二、现浇梯形基础·····	(522)	三、材料规格及质量要求·····	(553)
三、预制杯口基础·····	(523)	四、地下工程防水混凝土施工·····	(588)
四、独立基础施工·····	(526)	五、工程质量控制手段与措施·····	(595)
第四节 筏形基础·····	(527)	六、防水混凝土成品保护·····	(601)
一、筏形基础分类及形式·····	(527)	七、工程质量通病防治·····	(602)
二、筏形基础构造要求·····	(527)	第三节 防水砂浆防水施工·····	(603)
三、筏形基础施工·····	(529)	一、水泥砂浆防水层分类·····	(603)
第五节 墩基础·····	(529)	二、水泥砂浆防水层特点及 适用范围·····	(603)
一、墩基础分类及特点·····	(530)	三、水泥砂浆防水层构造做法·····	(604)
二、墩基础构造要求·····	(533)	四、水泥砂浆防水层技术要求·····	(605)
三、墩基础施工·····	(533)	五、材料规格及质量要求·····	(606)
第七章 砌体基础		六、水泥砂浆防水层施工环境与 基层处理·····	(607)
第一节 概 述·····	(537)	七、普通防水砂浆防水层施工·····	(609)
一、常用砌筑材料·····	(537)	八、掺外加剂水泥砂浆防水层施工·····	(616)
二、砌体基础构造·····	(540)	九、聚合物水泥砂浆防水层施工·····	(622)
三、砌体基础施工·····	(541)	十、工程质量控制手段与措施·····	(631)
第二节 毛石基础·····	(541)	十一、水泥砂浆防水层成品保护·····	(632)
一、毛石基础构造·····	(541)	十二、工程质量通病防治·····	(633)
二、毛石基础材料要求·····	(542)	第四节 地下工程卷材防水·····	(635)
三、毛石基础施工·····	(542)	一、地下工程卷材防水适用范围·····	(636)
第三节 砖基础·····	(543)	二、地下工程卷材防水施工条件·····	(636)
一、砖基础构造·····	(543)	三、地下工程卷材防水施工作法·····	(636)
二、砖基础材料要求·····	(543)	四、地下工程卷材防水技术要求·····	(638)
三、砖基础施工·····	(544)	五、材料规格及质量要求·····	(638)
第八章 地下防水		六、卷材防水层施工要求及方法·····	(640)
第一节 概 述·····	(546)	七、地下沥青防水卷材施工·····	(648)
一、地下工程防水原则·····	(546)	八、高聚物改性沥青卷材防水施工·····	(651)
二、地下工程防水等级和设防标准·····	(546)	九、合成高分子卷材防水施工·····	(653)
三、地下工程防水方案·····	(547)	十、工程质量控制手段与措施·····	(655)
四、地下工程防水作法·····	(548)	十一、卷材防水层成品保护·····	(657)
第二节 防水混凝土防水施工·····	(549)	十二、工程质量通病防治·····	(657)
一、防水混凝土种类、特点及 适用范围·····	(549)	第五节 地下工程涂膜防水·····	(661)
二、地下防水混凝土工程设防要求·····	(551)	一、涂膜防水的适用范围和 施工条件·····	(661)

二、地下工程涂膜防水层构造做法	··· (661)
三、地下工程涂膜防水层技术要求	··· (661)
四、材料规格及质量要求	····· (662)
五、涂膜防水层施工条件及要求	····· (664)
六、聚氨酯涂膜防水层施工	····· (667)
七、硅橡胶涂膜防水层施工	····· (669)
八、金汤 JS 复合防水涂料施工	····· (670)
九、工程质量控制手段与措施	····· (671)
十、涂膜防水成品保护	····· (673)
十一、工程质量通病防治	····· (673)
第六节 地下结构塑料板防水	····· (674)
一、塑料防水板种类及性能	····· (674)
二、塑料防水板质量要求	····· (675)
三、塑料板防水层施工	····· (675)
四、工程施工质量控制	····· (676)
第七节 地下结构金属板防水	····· (677)
一、金属板防水层构造	····· (677)
二、材料规格及质量要求	····· (678)
三、金属板防水层施工	····· (678)
四、工程施工质量控制	····· (679)
第八节 特殊施工法防水工程	····· (680)
一、锚喷支护	····· (680)
二、复合式衬砌	····· (686)
三、盾构法隧道	····· (688)
第九节 地下混凝土结构细部构造防水	····· (701)
一、变形缝	····· (701)
二、施工缝	····· (705)
三、后浇带	····· (707)
四、穿墙管道	····· (709)
五、埋设件	····· (714)
六、其他细部构造防水	····· (717)
第十节 地下工程注浆防水	····· (721)
一、注浆防水的分类	····· (721)
二、注浆原理与技术	····· (722)
三、注浆防水的技术要求	····· (723)

四、注浆防水的应用范围	····· (725)
五、注浆防水材料 with 施工机具	····· (725)
六、预注浆防水	····· (730)
七、后注浆防水	····· (734)
八、高压喷射注浆防水	····· (737)
九、衬砌裂缝注浆	····· (742)

第九章 工程建设标准强制性条文

第一节 工程建设标准化管理

一、工程建设标准化的概念	····· (744)
二、工程建设强制性标准与推荐性标准	····· (744)
三、我国工程建设标准体制的改革	··· (745)

第二节 建设部《工程建设标准

强制性条文》简介

一、强制性条文的范围	····· (745)
二、强制性条文的产生	····· (745)
三、发布《强制性条文》的作用和意义	····· (746)
四、《强制性条文》的编制与修订	····· (746)
五、《强制性条文》的使用	····· (747)

第三节 强制性条文及条文说明

第四节 地基基础工程相关

标准强制性条文

一、地基勘察部分	····· (752)
二、地基基础设计部分	····· (755)
三、地基基础施工部分	····· (760)

第十章 分部(子分部)工程质量验收

第一节 建筑工程质量验收的

划分

一、单位(子单位)工程的划分	····· (770)
二、分部(子分部)工程的划分	····· (770)
三、分项工程的划分	····· (771)
四、检验批的划分	····· (777)
五、室外工程的划分	····· (777)

第二节 建筑工程质量验收

要求与组织	(777)
一、建筑工程质量验收要求	(778)
二、检验批质量合格条件	(778)
三、分项工程质量合格条件	(780)
四、分部(子分部)工程质量合格条件	(781)
五、分部(子分部)工程质量验收程序和组织	(783)
六、建筑工程质量不符合要求时的处理规定	(787)

七、严禁验收	(789)
--------------	-------

第三节 地基基础工程质量验收

要求及方法	(789)
一、基本规定	(789)
二、工程验收技术文件和记录	(792)
三、工程验收规定及要求	(792)
四、工程质量验收记录表填写实例	(793)
参考文献	(795)

第一章 概 述

第一节 地基基础与建筑结构的关系

建筑物的上部结构一般以墙或柱与下部基础相联接,而基础底面直接与地面相接触,三者组成一个完整的体系。在建筑物中,通常将这三部分分开来考虑,进行静力平衡分析计算时,不考虑上部结构的刚度、基底反力简化为直线分布种种。但在实质上,上部结构、基础和地基三者是相互约束,相互作用的。应同时满足静力平衡和变形协调两个条件。

一、基础与上部结构的共同作用

一般认为,地基是变形体且基底反力均匀分布。当上部结构为柔性结构(如层架、柱、基础为承受重体系的木结构),同时基础刚度也较小,此时上部结构对基础的变形没有很大的约束作用,因而基础、上部结构会变形而产生整体弯曲。

当上部结构为绝对刚性结构、基础刚度较小的基础时,基础和上部结构会因地基变形而均匀下沉,不产生大的整体弯曲,因而上部刚性结构具有调整地基不均匀沉降的作用。

此外,当上部结构介于两种极端情况之间时,在荷载地基、基础都不变的情况下,随着上部结构刚度的增加,基础挠度和内力将减小。它们各自的刚度在体系中发挥作用。

二、地基与基础的共同作用

土的软硬或压缩性表现了地基抵抗变形的能,称为地基的刚度。当地基刚度很大时,可以看作不可压缩,基础不会产生挠曲,上部结构也不会因地基、基础的不均匀沉降而产生大的变形,这时各自的相互影响很小。而实际上地基土通常有一定的压缩性,在上部结构与基础刚度不变的情况下,地基土越软弱,基础的相对挠度和内力就越大,相应对上部结构就会引起较大的次应力。

作为上部结构与地基之间承上启下的结构,基础自重刚度对建筑物起着重要作用。假设不考虑上部结构的作用,当基础为完全柔性时,荷载传递不受基础的约束。柔性基础无力调整基底的不均匀变形。当基础为刚性时,抗弯刚度极大,基础对荷载的传递和地基的变形起着约束和调整的作用。

一般基础都是介于刚性与柔性之间,由上部结构传来的荷载与地基反力共同作用,基础产生一定的挠曲,地基土在反力作用下也产生相应变形。

三、地基、基础与上部结构的共同作用

地基、基础和上部结构通过各自的刚度在建筑物中的变形发生一定的作用。但实际上,它们之间的具体关系都是非常复杂的,须具体问题具体研究。

第二节 地基土的工程性质及分类

一、土的基本物理性质

(一) 土的组成

土是一种松散物质,由土颗粒(固相)、水(液相)和空气(气相)三部分组成。

土的三相组成部分的质量和体积之间的比例关系,随着各种条件的变化而改变。例如,地下水位的升高或降低,都将改变土中水的含量;经过压实的土,其孔隙体积将减小。这些变化都可以通过相应指标的具体数字反映出来。

表示土的三相组成比例关系的指标,称为土的三相比例指标,包括土粒比重(土粒相对密度)、含水量、密度、孔隙比、孔隙率和饱和度等。

为了便于说明和计算,用图 1-1 所示的土的三相组成示意图来表示各部分之间的数量关系,图中符号的意义如下:

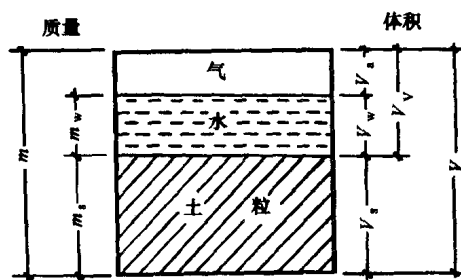


图 1-1 土的三相组成示意图

m_s ——土粒质量;

m_w ——土中水质量;

m ——土的总质量, $m = m_s + m_w$;

V_s ——土粒体积;

V_w ——土中水体积;

V_a ——土中气体体积;

V_v ——土中孔隙体积, $V_v = V_w + V_a$;

V ——土的总体积, $V = V_s + V_w + V_a$ 。

(二) 土的三相指标换算

土的三相指标换算见表 1-1。

土的三相比例指标换算公式

表 1-1

名 称	符 号	三相比例表达式	常用换算公式	单 位	常见的数值范围
土粒比重	d_s	$d_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w}$	$d_s = \frac{S_r e}{w}$		粘性土: 2.72 ~ 2.75 粉 土: 2.70 ~ 2.71 砂类土: 2.65 ~ 2.69
含水量	w	$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\%$	$w = \frac{S_r e}{d_s}$ $w = \frac{\rho}{\rho_d} - 1$		20% ~ 60%
密 度	ρ	$\rho = \frac{m}{V}$	$\rho = \rho_d(1 + w)$ $\rho = \frac{d_s(1 + w)}{1 + e} \rho_w$	g/cm ³	1.6 ~ 2.0 g/cm ³
干密度	ρ_d	$\rho_d = \frac{m_s}{V}$	$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w}$ $\rho_d = \frac{d_s}{1 + e} \rho_w$	g/cm ³	1.3 ~ 1.8 g/cm ³
饱和密度	ρ_{sat}	$\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V}$	$\rho_{sat} = \frac{d_s + e}{1 + e} \rho_w$	g/cm ³	1.8 ~ 2.3 g/cm ³
有效密度	ρ'	$\rho' = \frac{m_s - V_v \rho_w}{V}$	$\rho' = \rho_{sat} - \rho_w$ $\rho' = \frac{d_s - 1}{1 + e} \rho_w$	g/cm ³	0.8 ~ 1.3 g/cm ³
重 度	γ	$\gamma = \frac{m}{V} \cdot g = \rho \cdot g$	$\gamma = \frac{d_s(1 + w)}{1 + e} \gamma_w$	kN/m ³	16 ~ 20 kN/m ³
干重度	γ_d	$\gamma_d = \frac{m_s}{V} \cdot g = \rho_d \cdot g$	$\gamma_d = \frac{d_s}{1 + e} \gamma_w$	kN/m ³	13 ~ 18 kN/m ³
饱和重度	γ_{sat}	$\gamma_{sat} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} g = \rho_{sat} \cdot g$	$\gamma_{sat} = \frac{d_s + e}{1 + e} \gamma_w$	kN/m ³	18 ~ 23 kN/m ³
有效重度	γ'	$\gamma' = \frac{m_s - V_v \rho_w}{V} g = \rho' \cdot g$	$\gamma' = \frac{d_s - 1}{1 + e} \gamma_w$	kN/m ³	8 ~ 13 kN/m ³
孔隙比	e	$e = \frac{V_v}{V_s}$	$e = \frac{d_s \rho_w}{\rho_d} - 1$ $e = \frac{d_s(1 + w) \rho_w}{\rho} - 1$		粘性土和粉土: 0.40 ~ 1.20 砂类土: 0.30 ~ 0.90
孔隙率	n	$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$	$n = \frac{e}{1 + e}$ $n = 1 - \frac{\rho_d}{d_s \rho_w}$		粘性土和粉土: 30% ~ 60% 砂类土: 25% ~ 45%
饱和度	S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$	$S_r = \frac{w d_s}{e}$ $S_r = \frac{w \rho_d}{n \rho_w}$		0% ~ 100%

注: 水的重度 $\gamma_w = \rho_w \cdot g = 1 \text{ t/m}^3 \times 9.807 \text{ m/s}^2 = 9.807 \times 10^3 (\text{kg} \cdot \text{m/s}^2) / \text{m}^3 \approx 10 \text{ kN/m}^3$

(三) 无粘性土的密实度

无粘性土的密实度与其工程性质有着密切的关系。呈密实状态时,强度较大,可作为良好的天然地基;呈松散状态时,则是不良地基。对于同一种无粘性土,当其孔隙比小于某一限度时,处于密实状态,随着孔隙比的增大,则处于中密、稍密直到松散状态。无粘性土的这种特性,是因为它所具有的单粘结构决定的。

以下介绍与无粘性土的最大和最小孔隙比、相对密实度等有关密实度的指标。

无粘性土的最小孔隙比是最紧密状态的孔隙比,用符号 $e_{\min}$ 表示;其最大孔隙比是土处于最疏松状态时的孔隙比,用符号 $e_{\max}$ 表示。 $e_{\min}$ 一般采用“振击法”测定; $e_{\max}$ 一般用“松砂器法”测定。

对于不同的无粘性土,其 $e_{\min}$ 与 $e_{\max}$ 的测定值也是不同的, $e_{\max}$ 与 $e_{\min}$ 之差(即孔隙比可能变化的范围)也是不一样的。一般土粒粒径较均匀的无粘性土,其 $e_{\max}$ 与 $e_{\min}$ 之差较小;对不均匀的无粘性土,则其差值较大。

无粘性土的天然孔隙比 e 如果接近 $e_{\max}$ (或 $e_{\min}$),则该无粘性土处于天然疏松(或密实)状态,这可用无粘性土的相对密实度进行评价。

无粘性土的相对密实度以最大孔隙比 $e_{\max}$ 与天然孔隙比 e 之差和最大孔隙比 $e_{\max}$ 与最小孔隙比 $e_{\min}$ 之差的比值 D_r 表示,即:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (1-1)$$

从上式可知,若无粘性土的天然孔隙比 e 接近于 $e_{\min}$,即相对密实度 D_r 接近于 1 时,土呈密实状态;当 e 接近于 $e_{\max}$ 时,即相对密实度 D_r 接近于 0,则呈松散状态。根据 D_r 值可把砂土的密实度状态划分为下列三种:

$1 \geq D_r > 0.67$	密实的
$0.67 \geq D_r > 0.33$	中密的
$0.33 \geq D_r > 0$	松散的

相对密实度试验适用于透水性良好的无粘性土,如纯砂、纯砾等。相对密实度是无粘性粗粒土密实度的指标,它对于土作为土工构筑物和地基的稳定性,特别是在抗震稳定性方面具有重要的意义。

(四) 粘性土的可塑性指标

1. 界限含水量

同一种粘性土随其含水量的不同,而分别处于固态、半固态、可塑状态及流动状态。所谓可塑状态,就是当粘性土在某含水量范围内,可用外力塑成任何形状而不发生裂纹,并当外力移去后仍能保持既得的形状,土的这种性能叫做可塑性。粘性土由一种状态转到另一种状态的分界含水量,叫做界限含水量。它对粘性土的分类及工程性质的评价有重要意义。

如图 1-2 所示,土由可塑状态转到流动状态的界限含水量叫做液限(也称塑性上限含水量或流限),用符号 w_L 表示;土由半固态转到可塑状态的界限含水量叫做塑限(也称

塑性下限含水量),用符号 w_p 表示;土由半固体状态不断蒸发水分,则体积逐渐缩小,直到体积不再缩小时土的界限含水量叫缩限,用符号 w_s 表示。界限含水量都以百分数表示。

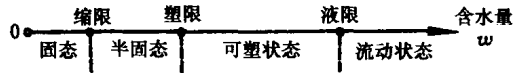


图 1-2 粘性土的物理状态与含水量关系

2. 粘性土的塑性指数和液性指数

塑性指数是指液限和塑限的差值(省去%符号),即土处在可塑状态的含水量变化范围,用符号 I_p 表示,即:

$$I_p = w_L - w_p \quad (1-2)$$

显然,液限和塑限之差(或塑性指数)愈大,土处于可塑状态的含水量范围也愈大。换句话说,塑性指数的大小与土中结合水的可能含量有关,亦即与土的颗粒组成、土粒的矿物成分以及土中水的离子成分和浓度等因素有关。从土的颗粒来说,土粒越细、且细颗粒(粘粒)的含量越高,则其比表面和可能的结合水含量愈高,因而 I_p 也随之增大。从矿物成分来说,粘土矿物可能具有的结合水量大(其中尤以蒙脱石类为最大),因而 I_p 也大。从土中水的离子成分和浓度来说,当水中高价阳离子的浓度增加时,土粒表面吸附的反离子层的厚度变薄,结合水含量相应减少, I_p 也小;反之随着反离子层中的低价阳离子的增加, I_p 变大。

由于塑性指数在一定程度上综合反映了影响粘性土特征的各种重要因素,因此,在工程上常按塑性指数对粘性土进行分类。

液性指数是指粘性土的天然含水量和塑限的差值与塑性指数之比,用符号 I_L 表示,即:

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} = \frac{w - w_p}{I_p} \quad (1-3)$$

从式中可见,当土的天然含水量 w 小于 w_p 时, I_L 小于 0,天然土处于坚硬状态;当 w 大于 w_L 时, I_L 大于 1,天然土处于流动状态;当 w 在 w_p 与 w_L 之间时,即 I_L 在 0~1 之间,则天然土处于可塑状态。因此可以利用液性指数 I_L 来表示粘性土所处的软硬状态。 I_L 值愈大,土质愈软;反之,土质愈硬。

(五)土的颗粒组成

土中的固体颗粒(简称土粒)的大小和形状、矿物成分及其组成情况是决定土的物理力学性质的重要因素。粗大土粒往往是岩石经物理风化作用形成的碎屑,或是岩石中未产生化学变化的矿物颗粒,如石英和长石等;而细小土粒主要是化学风化作用形成的次生矿物和生成过程中混入的有机物质。粗大土粒其形状都呈块状或粒状,而细小土粒其形状主要呈片状。土粒的组合情况就是大小土粒含量的相对数量关系。

在自然界中存在的土,都是由大小不同的土粒组成的。土粒的粒径由粗到细逐渐变