



新世纪土木工程系列规划教材

基础工程



徐新生 孙勇 主编

Education



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



新世纪土木工程系列规划教材

基 础 工 程

主 编 徐新生 孙 勇
副主编 刘晓春 陈 新 武征霄
参 编 董洪晶 赵 剑 安淑红

机 械 工 业 出 版 社

本书按照高等院校土木工程专业基础工程教学大纲的要求,结合土木工程专业教学特点,紧紧围绕高级应用型人才培养目标,根据国家最新的技术规范规程编写而成。本书共7章,包括岩土工程勘察、浅基础、连续基础、桩基础、地基处理、基坑工程、特殊岩土地基。为了便于学生自学,加深学生对所学知识的理解,每个章节中均附有例题,各章附有相应的思考题和习题。

本书可作为土木工程专业及相关专业的基础工程课程教材,也可供土木工程从业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程/徐新生,孙勇主编. —北京:机械工业出版社,2014.7
新世纪土木工程系列规划教材
ISBN 978-7-111-46818-9

I. ①基… II. ①徐…②孙… III. ①基础(工程)-高等学校-教材
IV. ①TU47

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第107934号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:马军平 责任编辑:马军平 臧程程 版式设计:霍永明
责任校对:丁丽丽 封面设计:张静 责任印制:刘岚
涿州市京南印刷厂印刷

2015年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18印张·435千字

标准书号:ISBN 978-7-111-46818-9

定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前言

基础工程是土建类专业的一门主要专业课程，其目的是通过系统的学习，使学生能够掌握基础工程设计的基本概念和基本理论，并在此基础上进行基础设计、计算和工程应用，具有初步的基础工程设计能力和管理能力。

本书在编写过程中，强调地基基础设计原则和规范规定，密切结合国家最新颁布的技术规范、规程，如 JGJ 94—2008《建筑桩基技术规范》、GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》、GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》等，及时反映我国有关规范建设和工程实践的新成果。便于读者了解最新规范的内容，从而更好地掌握基础工程课程的内容。本书力图准确阐述基础工程学中的基本概念、基本原理与基本方法，做到条理清晰、层次分明，强调理论联系实际。内容讲解突出重点，化解难点，深入浅出，循序渐进，图文并茂，力求易读易懂；强调例题的作用，重点难点内容均配有例题，并在每章均附有思考题和习题，以帮助读者理解和掌握书中理论知识 and 设计计算过程。本书内容丰富，各章节相对独立，适合不同层次、不同专业方向的教学要求。

本书共 7 章，包括岩土工程勘察、浅基础、连续基础、桩基础、地基处理、基坑工程、特殊岩土地基。

本书编写人员为：中国海洋大学刘晓春；山东科技大学陈新；济南大学徐新生；嘉兴学院董洪品；山东农业大学孙勇、武征霄、安淑红、赵剑。其中徐新生、孙勇担任主编，刘晓春、陈新、武征霄担任副主编。具体分工如下：第 1 章（赵剑、孙勇）；第 2 章（刘晓春）；第 3 章（徐新生）；第 4 章（武征霄、孙勇）；第 5 章（安淑红）；第 6 章（陈新）；第 7 章（董洪品）。全书由孙勇负责统稿。

在本书编写过程中，参考了大量的文献资料，均在参考文献中列出。在此，谨向这些文献的作者表示衷心的感谢。由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目录

前言

第1章 岩土工程勘察	1
1.1 工程勘察的基本要求	1
1.2 地下水	5
1.3 勘探与取样	8
1.4 原位测试	11
1.5 岩土工程分析评价与成果报告	15
1.6 工程实例	21
思考题	22
第2章 浅基础	23
2.1 概述	23
2.2 基础埋置深度的确定	30
2.3 地基承载力的确定	34
2.4 基础底面尺寸的确定	38
2.5 无筋扩展基础	43
2.6 扩展基础	46
2.7 双柱联合基础	57
2.8 减少建筑物不均匀沉降的措施	61
思考题	66
习题	67
第3章 连续基础	69
3.1 概述	69
3.2 地基、基础与上部结构共同工作的概念	69
3.3 地基计算模型	72
3.4 弹性地基上梁的分析	74
3.5 柱下条形基础	80
3.6 十字交叉条形基础	86
3.7 筏形基础	89
3.8 箱形基础	93
思考题	96
习题	96
第4章 桩基础	98
4.1 概述	98

4.2	桩的类型与选用	99
4.3	单桩竖向极限承载力	103
4.4	桩基竖向承载力计算	119
4.5	桩侧负摩阻力	123
4.6	桩基沉降计算	126
4.7	桩基水平承载力与位移计算	131
4.8	按桩身材料强度确定单桩竖向承载力	135
4.9	承台计算	137
4.10	桩基的构造	147
4.11	桩基础设计	149
4.12	桩基础概念设计	156
4.13	其他深基础	159
	思考题	161
	习题	161
第5章	地基处理	164
5.1	概述	164
5.2	复合地基理论	168
5.3	预压法	173
5.4	振密、挤密法	181
5.5	化学加固法	196
5.6	置换法	215
5.7	加筋	222
5.8	既有建筑物地基加固与基础托换技术	223
	思考题	228
	习题	229
第6章	基坑工程	230
6.1	概述	230
6.2	挡土墙	235
6.3	基坑支护	238
6.4	地下水控制	251
6.5	基坑稳定性分析	254
6.6	基坑施工监测	256
	思考题	257
	习题	257
第7章	特殊岩土地基	258
7.1	土岩组合地基	258
7.2	压实填土地基	261
7.3	软土地基	263
7.4	湿陷性黄土地基	267

7.5 膨胀土地基	271
7.6 红黏土地基	274
7.7 岩溶与土洞	276
思考题	278
习题	278
参考文献	279

第 1 章 岩土工程勘察

各项工程建设在设计和施工之前，必须按基本建设程序进行岩土工程勘察。岩土工程勘察应按工程建设各勘察阶段的要求，正确反映工程地质条件，查明不良地质作用和地质灾害，精心勘察、精心分析，提出资料完整、评价正确的勘察报告。

1.1 工程勘察的基本要求

1.1.1 岩土分类

土层是由各种不同粒组组成的混合物。组成粒组的不同，使得土层的工程性质也大不相同。岩土工程勘察为了能定性、定量地对各种土层进行分析、计算与评价，对土层进行了科学地分类与定名。

依据 GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》的分类标准，岩土可分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土和人工填土。下面对每类岩土分类进行扼要的阐述。

1. 岩石

在进行岩土工程勘察时，应鉴定岩石的地质名称和风化程度，并进行岩石坚硬程度、岩体完整程度和岩体基本质量等级的划分。

岩石按成因可分为岩浆岩（火成岩）、沉积岩（水成岩）和变质岩三类。岩浆岩（火成岩）是岩浆在向地表上升过程中，由于热量散失逐渐经过分异等作用冷凝而形成的岩石。沉积岩（水成岩）是由岩石、矿物在内外力作用下破碎成碎屑物质后，再经水流、风吹和冰川等的搬运，堆积在大陆低洼处或海洋，再经胶结、压密等成岩作用而形成的岩石。变质岩是岩浆岩或沉积岩在高温、高压或其他因素作用下，经变质所形成的岩石。

岩石按坚硬程度可分为坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩、极软岩，见表 1-1。

表 1-1 岩石按坚硬程度分类

坚硬程度类别	坚硬岩	较硬岩	较软岩	软岩	极软岩
饱和单轴抗压强度标准值 f_{rk}/MPa	$f_{rk} > 60$	$60 \geq f_{rk} > 30$	$30 \geq f_{rk} > 15$	$15 \geq f_{rk} > 5$	$f_{rk} \leq 5$

岩体按完整程度可分为完整、较完整、较破碎、破碎、极破碎，见表 1-2。

表 1-2 岩体按完整程度分类

完整程度等级	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎
完整性系数	> 0.75	$0.75 \sim 0.55$	$0.55 \sim 0.35$	$0.35 \sim 0.15$	< 0.15

岩体基本质量等级可分为完整、较完整、较破碎、破碎、极破碎，见表 1-3。

岩石按风化程度可分为未风化、微风化、中等风化、强风化、全风化、残积土，见表 1-4。

表 1-3 岩体基本质量等级分类

完整程度 坚硬程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎
坚硬岩	I	II	III	IV	V
较硬岩	II	III	IV	IV	V
较软岩	III	IV	IV	V	V
软岩	IV	IV	V	V	V
极软岩	V	V	V	V	V

表 1-4 岩石按风化程度分类

风化程度	野外特征
未风化	岩质新鲜, 偶见风化痕迹
微风化	结构基本未变, 仅节理面有渲染或略有变色, 有少量风化裂隙
中等风化	结构部分破坏, 沿节理面有次生矿物、风化裂隙发育, 岩体被切割成岩块。用镐难挖, 岩芯钻方可钻进
强风化	结构大部分破坏, 矿物成分显著变化, 风化裂隙很发育, 岩体破坏, 用镐可挖, 干钻不易钻进
全风化	机构基本破坏, 但尚可辨认, 有残余结构强度, 可用镐挖, 干钻可钻进
残积土	组织结构全部破坏, 已风化成土状, 铁镐易挖掘, 干钻易钻进, 具可塑性

岩石按软化系数 K_R 可分为软化岩石和不软化岩石。当软化系数 K_R 小于或等于 0.75 时, 为软化岩石; 当软化系数 K_R 大于 0.75 时, 为不软化岩石。

岩体按岩石的质量指标 (RQD) 可分为好、较好、较差、差、极差, 见表 1-5。

表 1-5 岩体按岩石的质量指标 (RQD) 分类

岩体分类	RQD(%)	岩体分类	RQD(%)
好	>90	差	25~50
较好	75~90	极差	<25
较差	50~75		

2. 土

一般来说, 土可按地质成因、沉积年代、颗粒级配和塑性指数及工程特性等进行分类。现分述如下:

按地质成因可分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、淤积土、冰积土、风积土等类型。

按沉积年代可分为老沉积土和新沉积土。老沉积土为第四纪晚更新世及其以前沉积的土, 一般具有较高的强度和较低的压缩性。新沉积土为第四纪全新世中近期沉积的土, 一般为欠固结的, 且强度较低。

按颗粒级配和塑性指数可分为碎石土、砂土、粉土、黏性土。粒径大于 2mm 的颗粒质量超过总质量的 50% 的土, 应定名为碎石土, 并按表 1-6 进一步分类。粒径大于 2mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%, 粒径大于 0.075mm 的颗粒质量超过总质量 50% 的土, 应定名为砂土, 并按表 1-7 进一步分类。粒径大于 0.075mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%, 且塑性指数等于或小于 10 的土, 应定名为粉土。塑性指数大于 10 的土应定名为黏性土。塑性指数 $I_p > 17$, 为黏土; 塑性指数 $10 \leq I_p \leq 17$, 为粉质黏土。

表 1-6 碎石土分类

土的名称	颗粒形状	颗粒级配
漂石	圆形或亚圆形为主	粒径大于 200mm 的颗粒质量超过总质量 50%
块石	棱角形为主	

(续)

土的名称	颗粒形状	颗粒级配
卵石	圆形或亚圆形为主	粒径大于 20mm 的颗粒质量超过总质量 50%
碎石	棱角形为主	
圆砾	圆形或亚圆形为主	粒径大于 2mm 的颗粒质量超过总质量 50%
角砾	棱角形为主	

注：分类时应根据颗粒级配栏从上到下以最先符合者确定。

表 1-7 砂土分类

土的名称	颗粒级配	土的名称	颗粒级配
砾砂	粒径大于 2mm 的颗粒质量占总质量 25% ~ 50%	细砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒质量超过总质量 85%
粗砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒质量超过总质量 50%	粉砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒质量超过总质量 50%
中砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒质量超过总质量 50%		

注：分类时应根据颗粒级配栏从上到下以最先符合者确定。

具有一定分布区域或工程意义上具有特殊成分、状态和结构特征的土称为特殊性土，根据工程特性分为湿陷性土、红黏土、软土、冻土、膨胀土、盐渍土、混合土、填土和污染土。

1.1.2 工程地质测绘与调查

对地质条件复杂或有特殊要求的工程项目，应进行工程地质测绘。工程地质测绘宜在可行性研究或初步勘察阶段进行，在详细勘察阶段可对某些专门地质问题做补充测绘。测绘的目的是研究拟建场地的地层、岩性、构造、地貌、水文地质条件和不良地质作用，为场址选择和勘察方案的布置提供依据。

1. 工程地质测绘工作的布置

根据测绘精度要求，需在一定面积内满足一定数量的观测点和观测路线。观测点的布置应尽量利用天然露头，当天然露头不足时，可布置少量的勘探点，并选取少量的土试样进行试验。在条件适宜时，可配合进行一定的物探工作。

GB 50021—2001《岩土工程勘察规范（2009 年版）》规定地质观测点的密度应根据场地的地貌、地质条件、成图比例尺和工程要求等确定，并应有代表性。

2. 测绘内容

测绘内容主要包括以下几方面：查明地形、地貌特征及其与地层、构造、不良地质作用的关系，划分地貌单元；岩土的年代、成因、性质、厚度和分布；对岩层应鉴定其风化程度，对土层应区分新近沉积土、各种特殊性土；查明岩体结构类型，各类结构面（尤其是软弱结构面）的产状和性质，岩、土接触面和软弱夹层的特性等，新构造活动的形迹及其与地震活动的关系；查明地下水的类型、补给来源、排泄条件，泉井位置，含水层的岩性特征、埋藏深度、水位变化、污染情况及其与地表水体的关系；搜集气象、水文、植被、土的标准冻结深度等资料；调查最高洪水位及其发生时间、淹没范围；查明岩溶、土洞、滑坡、崩塌、泥石流、冲沟、地面沉降、断裂、地震震害、地裂缝、岸边冲刷等不良地质作用的形成、分布、形态、规模、发育程度及其对工程建设的影响；调查人类活动对场地稳定性的影响，包括人工洞穴、地下采空、大挖大填、抽水排水和水库诱发地震等；建筑物的变形和工程经验。

1.1.3 各阶段勘察的主要内容及要求

1. 岩土工程勘察等级的划分

根据工程的重要性等级、场地复杂程度等级和地基复杂程度等级，岩土工程勘察等级分甲级、乙级、丙级三个等级。在工程重要性、场地复杂程度和地基复杂程度等级中，有一项或多项为一级定为甲级；除勘察等级为甲级和丙级以外的勘察项目定为乙级；工程重要性、场地复杂程度和地基复杂程度等级均为三级定为丙级。注意：建筑在岩质地基上的一级工程，当场地复杂程度等级和地基复杂程度等级均为三级时，岩土工程勘察等级可定为乙级。

(1) 重要性等级 根据工程的规模和特征，以及由于岩土工程问题造成工程破坏或影响正常使用的后果，工程重要性等级分为三个等级。一级工程：重要工程，后果很严重；二级工程：一般工程，后果严重；三级工程：次要工程，后果不严重。

(2) 场地复杂程度 根据场地的复杂程度，可按下列规定分为三个场地等级：

1) 符合下列条件之一者为一级场地（复杂场地）：对建筑抗震危险的地段；不良地质作用强烈发育；地质环境已经或可能受到强烈破坏；地形地貌复杂；有影响工程的多层地下水，岩溶裂隙水或其他水文地质条件复杂，需专门研究的场地。

2) 符合下列条件之一者为二级场地（中等复杂场地）：对建筑抗震不利的地段；不良地质作用一般发育；地质环境已经或可能受到一般破坏；地形地貌较复杂；基础位于地下水位以下的场地；

3) 符合下列条件者为三级场地（简单场地）：抗震设防烈度等于或小于6度，或对建筑抗震有利的地段；不良地质作用不发育；地质环境基本未受破坏；地形地貌简单；地下水对工程无影响。

注：从一级开始，向二级、三级推定，以最先满足的为准。

(3) 地基复杂程度

1) 符合下列条件之一者为一级地基（复杂地基）：岩土种类多，很不均匀，性质变化大，需特殊处理；严重湿陷、膨胀、盐渍、污染的特殊性岩土，以及其他情况复杂、需专门处理的岩土。

2) 符合下列条件之一者为二级地基（中等复杂地基）：岩土种类较多，不均匀，性质变化较大；除一级地基（复杂地基）规定以外的特殊性岩土。

3) 符合下列条件者为三级地基（简单地基）：岩土种类单一，均匀，性质变化不大；无特殊性岩土。

2. 各阶段勘察的主要内容及要求

建筑物的岩土工程勘察宜分阶段进行，可行性研究勘察应符合选择场址方案的要求；初步勘察应符合初步设计的要求；详细勘察应符合施工图设计的要求；场地条件复杂或有特殊要求的工程，宜进行施工勘察。

可行性研究勘察，应对拟建场地的稳定性和适宜性作出评价，并应符合下列要求：搜集区域地质、地形地貌、地震、矿产、当地的工程地质、岩土工程和建筑经验等资料；在充分搜集和分析已有资料的基础上，通过踏勘了解场地的地层、构造、岩性、不良地质作用和地下水等工程地质条件；当拟建场地工程地质条件复杂，已有资料不能满足要求时，应根据具体情况进行工程地质测绘和必要的勘探工作；当有两个或两个以上拟选场地时应进行比选分析。

初步勘察应对场地内拟建建筑地段的稳定性作出评价，并进行下列主要工作：搜集拟建工程的有关文件、工程地质和岩土工程资料以及工程场地范围的地形图；初步查明地质构造、地层结构、岩土工程特性、地下水埋藏条件；查明场地不良地质作用的成因、分布、规模、发展趋势，并对场地的稳定性作出评价；对抗震设防烈度等于或大于6度的场地，应对场地和地基的地震效应作出初步评价；季节性冻土地区，应调查场地土的标准冻结深度；初步判定水和土对建筑材料的腐蚀性；高层建筑初步勘察时，应对可能采取的地基基础类型、基坑开挖与支护、工程降水方案进行初步分析评价。

详细勘察应按单体建筑物或建筑群提出详细的岩土工程资料和设计、施工所需的岩土参数；对建筑地基作出岩土工程评价，并对地基类型、基础形式、地基处理、基坑支护、工程降水和不良地质作用的防治等提出建议。主要应进行下列工作：搜集附有坐标和地形的建筑总平面图，场区的地面整平标高，建筑物的性质、规模、荷载、结构特点、基础形式、埋置深度、地基允许变形等资料；查明不良地质作用的类型、成因、分布范围、发展趋势和危害程度，提出整治方案的建议；查明建筑范围内岩土层的类型、深度、分布、工程特性，分析和评价地基的稳定性、均匀性和承载力；对需进行沉降计算的建筑物，提供地基变形计算参数，预测建筑物的变形特征；查明埋藏的河道、沟浜、墓穴、防空洞、孤石等对工程不利的埋藏物；查明地下水的埋藏条件，提供地下水位及其变化幅度；在季节性冻土地区，提供场地土的标准冻结深度；判定水和土对建筑材料的腐蚀性。

基坑或基槽开挖后，岩土条件与勘察资料不符或发现必须查明的异常情况时，应进行施工勘察；在工程施工或使用期间，当地基土、边坡体、地下水等发生未曾估计到的变化时，应进行监测，并对工程和环境的影响进行分析评价。

1.2 地下水

1.2.1 地下水的类型及其特征

地下水的分类方法很多，目前采用较多的一种分类方法是按地下水的埋藏条件把地下水分为三大类：上层滞水、潜水和承压水。若根据含水层的空隙性质又把地下水分为另外三大类：孔隙水、裂隙水、岩溶水。按上述两种分类方法组合后可得到以下九种复合类型的地下水，具体见表1-8。

表 1-8 地下水分类

按埋藏条件	按含水层空隙性质			特 征
	孔隙水	裂隙水	岩溶水	
上层滞水	季节性存在于局部隔水层上的重力水	出露于地表的裂隙岩层中季节性存在的重力水	裸露岩溶化岩层中季节性存在的重力水	完全靠大气降水或地表水体直接渗入补给
潜水	上部无连续完整隔水层存在的各种松散岩层中的水	基岩上部裂隙中的水	裸露岩溶化岩层中的水	1. 具有自由表面 2. 潜水在重力作用下,由潜水位较高处向潜水位较低处流动 3. 潜水的分布区与补给区是一致的 4. 潜水的 水位、流量和化学成分都随着地区和时间不同而变化

(续)

按埋藏条件	按含水层空隙性质			特 征
	孔隙水	裂隙水	岩溶水	
承压水	松散岩层组成的向斜、单斜和山前平原自流斜地中的地下水	构造盆地及向斜、单斜岩层中的裂隙承压水,断层破碎带深部的局部承压水	向斜及单斜岩溶岩层中的承压水	1. 有稳定的隔水顶板存在,没有自由水面,水体承受静水压力 2. 与外界联系较差,埋藏区与补给区不一致 3. 水位、水量、水温、水质等方面受水文气象因素、人为因素及季节变化的影响较小

1.2.2 水文地质测试

1. 地下水流向流速的测定

(1) 地下水流向的测定 地下水的流向可用三点法测定(图1-1)。沿等边三角形(或近似的等边三角形)的顶点布置钻孔,以其水位高程编绘等水位线图,则垂直等水位线并向水位降低的方向为地下水流向。三点间孔距一般取50~150m。此外,地下水流向的测定还可用人造放射性同位素单井法来测定。其原理是用放射性示踪溶液标记井孔水柱,让井中的水流入含水层,然后用一个定向探测器测定钻孔各方向含水层中示踪剂的分布,在一个井中确定地下水流向。此测定可在用同位素单井法测定流速的井孔内完成。

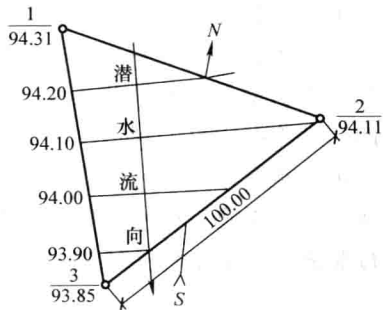


图1-1 测定地下水流向的钻孔布置略图

(2) 地下水流速的测定 地下水流速可根据水力坡度和利用指示剂或示踪剂等方法进行测定。现分述如下:

94.20—地下水位等值线

1	孔号
94.31	水位标高

1) 利用水力坡度,求地下水的流速。在等水位线图的地下水流向上,求出相邻两等水位间的水力坡度,然后利用下式计算地下水流速

$$v = kI \quad (1-1)$$

式中 v ——地下水的渗透速度 (m/d);

k ——渗透系数 (m/d);

I ——水力坡度。

2) 利用指示剂或示踪剂,测定地下水的流速。利用指示剂或示踪剂来现场测定流速,要求被测量的钻孔能够代表所要查明的含水层,钻孔附近的地下水流为稳定流,呈层流运动。

根据已有等水位线图或三点孔资料,确定地下水流动方向后,在上、下游设置投剂孔和观测孔来实测地下水流速。为了防止指示剂(示踪剂)绕过观测孔,可在其两侧0.5~1.0m各布一辅助观测孔。投剂孔与观测孔的间距决定于岩石(土)的透水性。

根据试验观测资料绘制观测孔内指示剂随时间的变化曲线,并选用指示剂含量峰值出现时间(或选用指示剂含量中间值对应时间)来计算地下水流速

$$v = l/t \quad (1-2)$$

式中 v ——地下水实际流速 (平均) (m/h), 测定方法见式 (1-1);

l ——投剂孔与观测孔距离 (m);

t ——观测孔内指示剂峰值出现所需时间 (h)。

2. 抽水试验

(1) 抽水试验的目的 工程地质勘察中抽水试验的目的, 通常为查明建筑场地的地层渗透性和富水性, 测定有关水文地质参数, 为建筑设计提供水文地质资料。往往用单孔 (或有一个观测孔) 的稳定流抽水试验。因为场地条件限制, 也常在探井、试孔或民井中用水桶或抽筒进行简易抽水试验。

(2) 抽水试验的方法和要求 抽水孔的钻孔适宜半径 $r \geq 0.01H$ (H 为含水层厚度), 也可利用半径适宜的工程地质钻孔抽水。抽水孔深度的确定, 与试验目的有关。当抽水孔深度大于或等于含水层厚度时, 抽水孔为完整孔, 否则为非完整孔。为获得较为准确、合理的渗透系数, 以小流量、小降深的抽水试验为宜。观测孔的布置, 取决于地下水的流向、坡度和含水层的均一性, 一般布置在与地下水流向垂直的方向上, 和抽水孔的距离以 1~2 个含水层厚度为宜。孔深一般要求为进入抽水孔试验段厚度的一半。

(3) 抽水试验资料整理

1) 现场整理。抽水试验进行过程中, 需要在现场整理、编制有关曲线图表, 指导并检查试验情况, 为室内整理做好基础工作。

2) 室内整理。首先绘制水文地质综合图表, 内容包括试验地段平面图; 水位、流量与时间过程曲线图, 水位恢复曲线 (过程) 图; 主孔、观测孔结构图 (包括工艺、技术措施说明); 其次计算工程地质勘察所需要的水文地质参数, 通过计算可得出岩 (土) 层的渗透系数和影响半径等水文地质参数。

3. 压水试验

(1) 压水试验的目的 工程地质勘察中的压水试验, 主要是为了探查天然岩 (土) 层的裂隙性和渗透性, 获得单位吸水量等参数, 为有关土建设计提供基础资料。

(2) 压水试验的主要参数 稳定流量 (压入耗水量) 就是在一定的地质条件下和某一个确定压力作用下, 压入水量呈稳定状态的流量。

1) 稳定流量的确定。控制某一设计压力值呈稳定后, 每隔 10min 测读一次流量, 当流量值稳定后作为压入耗水量。

2) 压力阶段和压力值。压水试验应按三级压力、五个阶段。 p_1 、 p_2 、 p_3 三级压力宜分别为 0.3MPa、0.6MPa、1.0MPa, 试验加压过程为 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_2 、 p_1 五个阶段。

(3) 试验过程 现场试验包括以下过程:

1) 洗孔。将钻具下到钻孔孔底, 采用压水法, 用水泵的最大流量进行洗孔。当孔口回水清洁, 肉眼观察无岩粉时可结束洗孔。

2) 试段隔离。根据试验段的位置设置栓塞的位置, 栓塞应安设在岩石较完整的部位, 采用气压式或水压式栓塞时, 充气 (水) 压力应比最大试验压力大 0.2~0.3MPa。

3) 水位观测。工作管内水位观测应每隔 5min 进行一次。当水位下降速度连续 2 次均小于 5cm/min 时, 观测工作即可结束, 用最后的观测结果确定压力计算零线。

4) 流量观测。流量观测前应调整调节阀, 使试段压力达到预定值并保持稳定; 流量观测工作应间隔 1~2min 进行 1 次, 当流量无持续增大趋势, 且 5 次流量读数中最大值与最小

值之差小于最终值的 10%，或最大值与最小值之差小于 1L/min 时，本阶段试验即可结束，取最终值作为计算值。

(4) 压水试验成果应用 利用压力试验可计算出岩（土）的试段透水率。透水率为当试段压力为 1MPa 时每米试段的压入水流量。透水率可采用下式计算

$$q = \frac{Q_3}{Lp_3} \tag{1-3}$$

式中 q ——试段的透水率（Lu）；
 L ——试段长度（m）；
 Q_3 ——第三阶段的计算流量（L/min）；
 p_3 ——第三阶段的试段压力（MPa）。

4. 注水（渗水）试验

钻孔注水试验是野外测定岩（土）层渗透性的一种比较简单的方法，其原理与抽水试验相似，仅以注水代替抽水。钻孔注水试验通常用于地下水位埋藏较深，而不适于进行抽水试验时；在干的透水岩（土）层，常使用注水试验获得渗透性资料。钻孔注水试验包括常水头法渗透试验和变水头法渗透试验，常水头法适用于砂、砾石、卵石等强透水地层；变水头法适用于粉砂、粉土、黏性土等弱透水地层。

试坑注水（渗水）试验是野外测定包气带非饱和岩（土）层渗透系数的简易方法。最常用的是试坑法、单环法和双环法。

1.3 勘探与取样

1.3.1 勘探方法

当需查明岩土的性质和分布，采取岩土试样或进行原位测试时，可采用钻探、井探、槽探、洞探和地球物理勘探等勘察方法。

1. 钻孔

在岩土工程勘察中，钻孔是最广泛采用的一种勘探手段，可以鉴别描述土层，岩土取样，进行原位测试等。

根据破碎岩土的方式，钻进方法的种类可分为冲击钻进、回转钻进、冲击-回转钻进和振动钻进等。钻探方法的适用范围详见表 1-9。

表 1-9 钻探方法的适用范围

钻探方法		钻进地层					勘察要求	
		黏性土	粉土	砂土	碎石土	岩石	直观鉴别,采取 不扰动土样	直观鉴别,采取 扰动土样
回 转	螺纹钻探	++	+	+	—	—	++	++
	无岩芯钻探	++	++	++	+	++	—	—
	岩芯钻探	++	++	++	+	++	++	++
冲 击	冲击钻探	—	+	++	++	—	—	—
	锤击钻探	++	++	++	+	—	++	++
	振动钻探	++	++	++	+	—	+	++
	冲洗钻探	+	++	++	—	—	—	—

注：++ 代表适用；+ 代表部分适用；— 代表不适用。

(1) 冲击钻进 利用钻具的重力和下冲击力使钻头冲击孔底以破碎岩土。根据使用的工具不同可分为钻杆冲击钻进和钢绳冲击钻进,但以钢绳冲击钻进较普遍。对于硬层(基岩、碎石土)一般采用孔底全面冲击钻进,对于土层一般采用圆筒形钻头的刃口借钻具冲击力切削土层钻进。

(2) 回转钻进 利用钻具回转使钻头的切削刃或研磨材料削磨岩土使之破碎。回转钻进可分为孔底全面钻进和孔底环状钻进(岩芯钻进)。岩芯钻进根据所使用的研磨材料不同又可分为硬质合金钻进、钻粒钻进及金刚石钻进。

(3) 冲击-回转钻进 冲击-回转钻进也称综合钻进。岩石的破碎是在冲击、回转综合作用下发生的,在工程地质勘察中,冲击-回转钻进应用较广泛。

(4) 振动钻进 振动钻进是将机械动力所产生的振动力,通过连接杆及钻具传到圆筒形钻头周围土中。由于振动器高速振动,使土的抗剪强度急剧降低,这时圆筒钻头依靠钻具和振动器的自重切削土层进行钻进。钻进速度较快,但主要适用于粉土、黏性土层及较小粒径的碎石(卵石)层。

2. 探槽与探井

探槽一般适用于了解构造线、破碎带宽度、不同地层岩性的分界线、岩脉宽度及其延深方向等。探槽的挖掘深度较浅,一般在覆盖层小于3m时使用,其长度根据所了解的地质条件和需要决定,宽度和深度则根据覆盖层的性质和厚度决定。当覆盖层较厚,土质较软易塌时,挖掘宽度需适当加大,甚至侧壁需挖成斜坡形,当覆盖层较薄,土质密实时,宽度减至便于工作时即可。探槽一般用锹、镐挖掘,当遇大块碎石、坚硬土层或风化基岩时,也可采用爆破。

探井能直接观察地质情况,详细描述岩性和分层,利用探井能取出接近实际的原状结构的土试样。因此,在地质条件复杂地区,常采用探井。但探井存在着速度慢、劳动强度大和不太安全等缺点。在坝址、地下工程、大型边坡等勘察中,当需详细查明深部岩层性质、构造特征时,可采用竖井或平洞。探井的深度不宜超过地下水位。探井的种类根据开口的形状可分为圆形、椭圆形、方形、长方形等。

1.3.2 取样器及取样技术

1. 土样质量等级

由于不同试验项目对土样扰动程度有不同的控制要求,因此 GB 50021—2001《岩土工程勘察规范(2009年版)》根据不同的试验要求来划分土样质量级别。根据试验目的,该规范把土试样的质量分为四个等级,并明确规定各级土样能进行的试验项目,见表1-10。

表 1-10 土试样质量等级

等级	扰动程度	试验内容
I	不扰动	土类定名、含水量、密度、强度试验、固结试验
II	轻微扰动	土类定名、含水量、密度
III	显著扰动	土类定名、含水量
IV	完全扰动	土类定名

注:1. 不扰动是指原位应力状态虽已改变,但土的结构、密度和含水量变化很小,能满足室内试验各项要求。

2. 除地基基础设计等级为甲级的工程外,在工程技术要求允许的情况下可用Ⅱ级土试样进行强度和固结试验,但宜先对土试样受扰动程度作抽样鉴定,判别用于试验的适宜性,并结合地区经验使用试验成果。

2. 钻孔取土器类型及适用条件

(1) 取样工具和方法 由于不同的取样方法和取样工具对土样的扰动程度不同,因此《岩土工程勘察规范(2009年版)》对于不同等级土试样适用的取样方法和工具作了具体规定,其内容见表1-11。

表 1-11 不同质量等级土试样的取样方法和工具

土试样质量等级	取样工具和方法		适用土类										
			黏 性 土					粉 土	砂 土				砾砂、碎石土、软岩
			流塑	软塑	可塑	硬塑	坚硬		粉砂	细砂	中砂	粗砂	
I	薄壁取土器	固定活塞	+	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—
		水压固定活塞	+	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—
		自由活塞	—	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—
		敞口	+	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—
	回转取土器	单动三重管	—	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—
		双动三重管	—	—	—	+	+	—	—	—	+	+	+
	探井(槽)中取块状土样		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
II	薄壁取土器	水压固定活塞	+	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—
		自由活塞	+	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—
		敞口	+	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—
	回转取土器	单动三重管	—	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—
		双动三重管	—	—	—	+	+	—	—	—	+	+	+
	厚壁敞口取土器		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
III	厚壁敞口取土器		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
	标准贯入器		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
	螺纹钻头		+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—
	岩芯钻头		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
IV	标准贯入器		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
	螺纹钻头		+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—
	岩芯钻头		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

注: 1. + +代表适用; +代表部分适用; —代表不适用。

2. 采取砂土试样应有防止试样失落的补充措施。

3. 有经验时,可采用束节式取土器代替薄壁取土器。

(2) 钻孔取样器类型 表1-11中所列各种取土器都是国内外常见的取土器,按进入土层的方式可分为贯入式和回转式两类。贯入式取土器可分为敞口取土器和活塞取土器两大类型。敞口取土器按管壁厚度分为厚壁和薄壁两种,活塞取土器则分为固定活塞、水压固定活塞、自由活塞等几种。贯入式取土器的技术参数见表1-12。

表 1-12 贯入式取土器的技术参数

取土器参数	厚壁 取土器	薄壁取土器			束节式 取土器	黄土 取土器
		敞口自由 活塞	水压固 定活塞	固定 活塞		
面积比 $\frac{D_w^2-D_e^2}{D_e^2}\times 100\%$	13~20	≤10	10~13		管靴薄壁段 同薄壁取土器, 长度不小于内 径的3倍	15
内间隙比 $\frac{D_s-D_e}{D_e}\times 100\%$	0.5~1.5	0	0.5~1.0			1.5
外间隙比 $\frac{D_w-D_i}{D_i}\times 100\%$	0~2.0	0				1.0
刃口角度 $\alpha/(^{\circ})$	<10	5~10				10
长度 L/mm	400,550	对砂土: $(5\sim 10)D_e$ 对黏性土: $(10\sim 15)D_e$				—