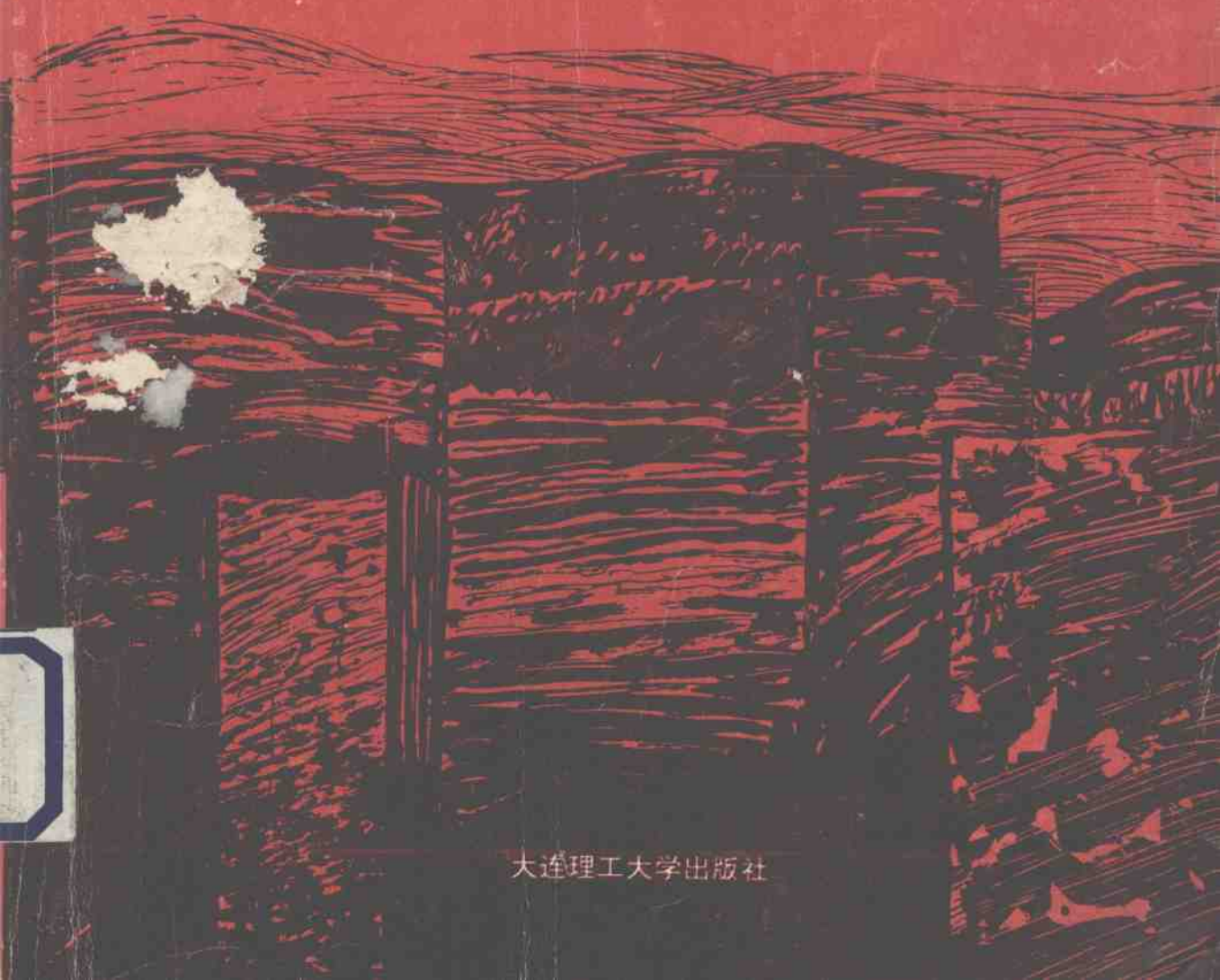


工程地质与岩土工程

陈振东 张宝柱 吴景田 主编

GONG CHENG DI ZHI YU YAN
TU GONG CHENG



大连理工大学出版社

工程地质与岩土工程

主编 陈振东 张宝柱 吴景田

大连理工大学出版社

(辽)新登字 16 号

内 容 简 介

全书共分 10 章,包括岩土的工程地质分类及工程地质性质、岩土工程勘察、岩土测试、地基基础类型及选择依据、桩基础的设计与检测、高层建筑的岩土工程勘察、不良地质条件下的岩土工程勘察、软土及特殊土的地基工程勘察、基础工程施工地质问题、岩土的加固与改良。以上各章与规范有关的内容,均依据《岩土工程勘察规范(GBJ21-92)》和《建筑地基基础设计规范(GBJ7-89)》及湿陷性黄土、膨胀土、软土规范等编写。

本书是按新规范编写的工程地质与岩土工程及基础工程相结合简明实用的教材,可作为大专院校工程地质、岩土工程、矿山建设、工业与民用建筑、城镇规划等专业的教材或教学参考书,也可供广大工程技术人员参阅。

工 程 地 质 与 岩 土 工 程

Gongcheng Dizhi Yu Yantu Gongcheng

陈振东 张宝柱 吴景田 主编

大连理工大学出版社出版发行

(大连市凌水河)

(邮政编码:116024)

辽宁省阜新蒙古族自治县报社印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:14 $\frac{1}{4}$ 插页:1 字数:337 千字

1994 年 12 月第 1 版

1994 年 12 月第 1 次印刷

印数:0001—2000 册

* * *

责任编辑:许芳春

责任校对:陈宝田

封面设计:孙宝福

ISBN 7-5611-0936-9

定价:12.00 元

TU · 19

前 言

随着我国现代化建设的发展,高层建筑、重型厂房、矿山工程、铁路、桥梁、港口码头等基本建设工程林立,蓬勃发展。现代化的基本建设促进了工程地质与岩土工程学科的发展和结合,从而对保证工程质量、降低工程造价、缩短工期、提高投资效益等起到了积极的作用,对工程勘察专业人才数量和素质提出了新的更高的要求。为适应我国拓广和健全岩土工程体制的需要,从事工程地质专业技术人员的工作应向工程方面拓宽,岩土工程专业人员应掌握基本工程地质理论,只有这样工程勘察人员不仅了解和评价建设场地的工程地质性质和条件,而且能从机理到工程进行全面的科学论证,充分的利用岩土,提出既经济又合理的基础工程设计方案和治理方案,这就是编者的想法和意图。

本教材主要为具有一定地质学基本知识和一定岩石力学及土力学知识的工程地质和岩土工程专业大学生服务的专业教材,当然还希望对从事这方面实际工作的工程技术人员和相关专业如建筑工程和规划专业人员有所帮助。在编写过程中,依据国家规范,结合教学实际、重视基本概念、掌握原理和方法、综合简明实用和少而精的原则集体编写而成。

本教材由陈振东、张宝柱、吴景田担任主编,具体编写人员分工如下:第一章:梅贵华;第二章:张宝柱、姜金华、赵宝良;第三章:陈敏、姜金华;第四章:吴景田、赵宝良;第五章:吴景田;第六章:陈振东、张宝柱;第七章:张宝柱、赵宝良、姜金华;第八章:张宝柱、梅贵华;第九章:陈敏;第十章:崔洪庆;陈振东同志做了全书统稿工作。

本书初稿曾受到王绍贤同志的审阅,并提出修改意见。全书插图由窦桂兰同志清绘,在此向他们表示深切的谢意。

由于编者水平所限,书中欠妥之处在所难免,敬请读者给予指正。

编 者

1994年4月

目 录

第一章 岩土的工程地质分类及工程地质性质	(1)
第一节 土的工程地质分类及野外鉴别特征	(1)
第二节 地基土的工程地质性质	(8)
第三节 岩石工程地质分类及其工程地质特征	(12)
第四节 岩体工程地质分类及其工程地质特征	(16)
第二章 岩土工程勘察	(24)
第一节 岩土工程勘察的基本要求	(24)
第二节 勘察方法及其合理选择与综合运用	(33)
第三节 地基承载力的确定方法	(37)
第四节 地基变形允许值的确定方法	(46)
第五节 岩土工程勘察报告的编制	(50)
第三章 岩土测试工作	(53)
第一节 室内试验工作	(53)
第二节 现场原位测试	(55)
第三节 岩土参数的分析与选定	(68)
第四节 地下水的腐蚀性(侵蚀性)对建筑材料的影响	(74)
第四章 建筑地基基础类型及其选择依据	(78)
第一节 地基基础设计原则	(78)
第二节 建筑物的基础类型	(80)
第三节 基础类型选择的工程地质依据	(83)
第四节 基础埋置深度的确定	(86)
第五节 桩基础	(90)
第五章 桩基础设计与检测	(98)
第一节 桩的工作性能	(98)
第二节 桩的静荷载试验	(99)
第三节 桩的设计要点	(104)
第四节 动力测桩理论和信号处理技术	(107)
第五节 波动法动力测桩	(113)
第六节 高应变动力测桩法	(119)
第六章 高层建筑的岩土工程勘察	(121)
第一节 箱形基础和筏板基础的勘察	(121)
第二节 桩基和墩基的岩土工程勘察	(126)
第三节 高层建筑岩土工程勘察实例	(128)

第七章 不良地质条件下的岩土工程勘察	(136)
第一节 土岩组合地基.....	(136)
第二节 岩溶地基.....	(139)
第三节 采空区地表塌陷勘察与评价.....	(149)
第四节 地震液化.....	(152)
第五节 滑坡.....	(157)
第六节 崩塌.....	(160)
第七节 泥石流.....	(162)
第八节 断裂的工程评价.....	(164)
第八章 软土地基及特殊土地基工程勘察	(169)
第一节 软土地基的岩土工程勘察.....	(169)
第二节 区域性特殊土的工程勘察.....	(171)
第九章 基础工程施工地质问题	(186)
第一节 基础工程施工对周围环境的影响.....	(186)
第二节 基坑深开挖的稳定性问题.....	(187)
第三节 基坑突涌、流砂和坑底原状土的保护.....	(194)
第四节 井点降水.....	(195)
第五节 桩基础施工位移及其它.....	(202)
第六节 钻孔墩基础与沉井施工中的地质问题.....	(204)
第七节 施工期岩土工程的工作和监测.....	(207)
第十章 岩土加固与改良	(209)
第一节 夯实.....	(210)
第二节 换土垫层法.....	(211)
第三节 挤密桩及振冲桩.....	(214)
第四节 排水固结法.....	(217)
第五节 化学加固及旋喷法.....	(218)

第一章 岩土的工程地质 分类及工程地质性质

岩土是坚硬岩石和尚未固结硬化成岩石的松软土的简称,它与人类活动有着密切的关系。岩土不仅是地下水的埋藏处所,而且可做为工程的地基和围岩,同时又是丰富的天然建筑材料,所以岩土的工程地质性质及其在天然和人为因素作用下的变化,将直接影响着工程的规划、设计、施工和运用,影响着地下水的形成、径流和水质。因此,工程建设必须首先研究岩土的工程地质性质及工程地质分类问题。

岩石与土既有相同之处而又存在着很大的差别。相同之处在于:(1)它们都是地质作用的产物,是坚硬或松软的矿物聚合体,因此它们的性质与其地质成因有着密切关系;(2)它们都是由气、水、固体颗粒三部分组成的三相体,水对岩土性质有重要的影响;(3)由于成因复杂而后期又经过长期的变化,一般来说,它们都是非均质体,但在一定条件下,有时可作均质体处理。岩石与松软土最主要差别在于:(1)在颗粒间的联结方面,岩石具有强度较高的刚性联结,而松软土的粒间联结则很弱,甚至没有联结;(2)在坚硬岩石中往往分布具有一定方向的结构面(如断层面、节理、劈理、层理、软弱夹层等)致使不含结构面的小块岩石与包含结构面的岩体在性质上有较大的区别,而这一问题在土中则不突出。以上两点,导致岩石和土在性质上有较大差别。

就对地基岩土的要求而言,不只限于要求其具有较高的承载力和较少的沉降量,更重要的是要对地基岩土的性状应充分了解和进行必要的研究,以便对地基岩土作出正确的评价,对存在的工程地质问题作出定量分析,直至提出基础类型和施工方案。而所有这些要求,只有在对岩体、土体进行工程地质分类和详细研究岩土的工程地质性质的基础上方能完成。

第一节 土的工程地质分类及野外鉴别特征

一、土的工程地质分类

自然界存在着种类繁多、性质各异的土。为了便于合理选择研究内容和方法,针对不同工程建筑的要求,对不同的土给以正确的评价,为合理利用和改造各类土提供符合客观实际的依据。同时在工程勘察中,为把研究区内的各种土用统一的图例反映在工程地质平面图和剖面图上,作为设计、施工和分析研究的依据,必须将工程性质相近的土归成一类,并进行定名即对土进行工程分类。但是由于工程对象和使用目的的不同,对土的分类标准也很不一致。不仅不同国家有不同分类标准,就是国内不同系统和部门的分类体系至今也未能统一。在实际工作中,岩土分类应与工程目的一致,按作为地基和环境或作为建筑材料采用不同分类系统定名。对专门工程的勘察设计施工,可按有关的现行国家规范执行,下面主要介绍《建

筑地基基础设计规范(GBJ7-89)》中土的工程分类标准。

作为建筑物的地基有岩石和土,在建筑工程中作为地基以承受建筑物的荷载的,因此着眼于土的工程性质(特别是强度与变形特征)及其与地质成因关系来进行分类,可分为五大类,即碎石土、砂土、粉土、粘性土和人工填土,每大类可按组成及生成条件又分成若干亚类。

1. 碎石土

粒径大于 2mm 的颗粒含量超过全部土重 50% 的粗粒土均属碎石土。这类土没有粘性和塑性,属单粒结构,其状态均以密实度表示,见表 1-8。根据颗粒大小和形状不同,可以进一步分为漂石或块石、卵石或碎石、圆砾或角砾。分类标准见表 1-1。

表 1-1 碎石土的分类

土的名称	颗粒形状	颗粒级配
漂石 块石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 200mm 的颗粒超过全重 50%
卵石 碎石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 20mm 的颗粒超过全重 50%
圆砾 角砾	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 2mm 的颗粒超过全重 50%

注:定名时应根据颗粒级配由大到小以最先符合者确定。

2. 砂土

粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过全部土重的 50%,且粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 50% 的土均属砂土。这类土基本上没有粘性和塑性,也是单粒结构,影响这类土工程性质的主要因素是土的组成和土的密实度。

砂土根据颗粒级配,可按表 1-2 分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂 5 个亚类。注意,定名时应根据颗粒级配,由大到小以最先符合者确定。当砂土中粒径小于 0.075mm 的土的塑性指数 I_p 大于 10 时,应冠以“含粘性土”,如含粘性土粗砂等。

表 1-2 砂土的分类

土的名称	颗粒级配
砾砂	粒径大于 2mm 的颗粒占全重 25~50%
粗砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒超过全重 50%
中砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒超过全重 50%
细砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 85%
粉砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 50%

表 1-3 按标准贯入锤击数 N

判别砂土的密实度

标准贯入试验锤击数 N	密实度
$N \leq 10$	松散
$10 < N \leq 15$	稍密
$15 < N \leq 30$	中密
$N > 30$	密实

砂土的密实度,可按标准贯入试验击数划分为松散、稍密、中密、密实。见表 1-3。

3. 粉土

凡塑性指数 I_p 小于或等于 10 的土定名为粉土。其粒度成分以 0.05~0.1mm 和 0.005

~0.05mm 的粒组占绝大多数,性质介于粘性土和砂土之间,其宏观上的许多独特性质主要表现“粉粒”的特性。这类土集中了砂土与粘性土的缺点、工程性质最差。这种土在《工业与民用建筑地基基础设计规范(TJ7-74)》中曾称为轻亚粘土。

4. 粘性土

塑性指数 I_p 大于 10 的土均属粘性土。可按表 1-4 分为粉质粘土和粘土两个亚类。

表 1-4 粘性土的分类

土的名称	塑性指数
粉质粘土	$10 < I_p \leq 17$
粘 土	$I_p > 17$

注意确定塑性指数 I_p 时,液限以 76 克瓦氏圆锥仪入土深度 10mm 为准,塑限以搓条法为准。

粘性土的分类是个重要而复杂的问题。粘性土的工程性质差异很大,取决于土的组成、土的状态、土的生成条

件(反映土的结构)。根据工程特性,粘性土分为一般土和特殊土。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土。因此除了用塑性指数将粘性土分为两个亚类外规范还专门列出两类在特定环境下形成的粘性土,即一类叫“淤泥和淤泥质土”,另一类叫“红粘土和次生粘土”。

淤泥及淤泥质土是指在静水或缓慢流水环境中沉积并经生物化学作用所形成的粘性土,这种土有时含有较多的有机质,一般很松软,天然含水量 w 大于液限 w_l ,天然孔隙比 e 大于 1.0。对于其中天然孔隙比 e 大于 1.5 者称为淤泥;天然孔隙比 e 在 1.0~1.5 之间的称为淤泥质土。这类土的工程性质很差,常把淤泥及淤泥质土统称为软土。强度很低而压缩性高,天然结构易受扰动,工程中应予注意。

红粘土是指碳酸盐出露区的岩石(包括碳酸盐岩类岩石与碳酸盐系中有其它非碳酸盐类岩石的岩层),在特定的炎热湿润气候条件下,经化学风化作用(又称红土化作用)所形成的棕红、褐黄等色的高塑性粘土,其液限 w_l 大于 50,大多分布于我国广西、贵州、四川等省。这种土粘粒含量很高,具有明显的团粒结构,虽然它的天然孔隙比大(一般大于 1.0)、含水量高,但却具有较高的强度和较低的压缩性。

红粘土经再搬运后仍能保留其基本特征,且液限 w_l 大于 45 的土称为次生红粘土,其颜色常较未搬运者为浅,且常含粗颗粒。

5. 人工填土

指人类各种活动而堆填的土,如建筑垃圾、工业残渣废料和生活垃圾等。这种土堆积的年代比较短,成分比较杂,工程性质比较差。同时,因为它不是在水中沉积的,受水浸湿后常会产生附加下沉——湿陷性。利用这种土作为天然地基时,要注意它的组成、密度和堆积的年代。

人工填土根据其组成物质和成因可分为:

(1)素填土。按填土成分,分为碎石、砂土、粉土和粘性土等组成的填土。经分层压实者统称为压实填土。

(2)杂填土。含有大量建筑垃圾、工业废粒或生活垃圾等杂物形成的填土。

(3)冲填土。由水力冲填泥砂形成的填土。

通常人工填土的物质成分较杂乱,均匀性较差,且填筑时间又有很大的差别。习惯上对

填筑时间超过 5 年的可称为老填土,填筑时间不足 5 年的称为新填土。

另外在《岩土工程勘察规范》中规定,土按堆积年代可分三大类:即老堆积土、一般堆积土和新近堆积土。第四纪晚更新世(Q_3)及其以前堆积的土层,称为老堆积土,第四纪全新世(文化期以前 Q_4)堆积的土层为一般堆积土,文化期以来新近堆积的土层(Q_{4l}),一般呈欠固结状态,为新近堆积土。新近堆积土的野外鉴别见表 1-5。

土根据地质成因可分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、淤积土、冰积土和风积土,其鉴定标准见表 1-6。

表 1-5 新近堆积土野外鉴别

堆积环境	颜色	结构性	含 有 物
河漫滩、山前洪、冲积扇(锥)的表层,古河道,已填塞的湖、塘、沟、谷和河道泛滥区	较深而暗,呈褐、暗黄或灰色,含有机质较多时带灰黑色	结构性差,用手扰动原状土时极易变软,塑性较低的土还有振动水析现象	在完整的剖面中无粒状结核体,但可能含有圆形及亚圆形钙质结核体(如磁结石)或贝壳等,在城镇附近可能含有少量碎砖、瓦片、陶瓷、铜币或朽木等人类活动的 遗物

表 1-6 第四纪沉积层主要成因类型的鉴定标准

成因类型	堆积方式及条件	堆积物特征
残 积 层	岩石经风化作用而残留在原地的碎屑堆积物	碎屑物从地表向深处由细变粗,其成分与母岩相关,一般不具层理,碎块呈棱角状,土质不均,具有较大孔隙,厚度在山丘顶部较薄,低洼处较厚
坡积和崩积层	风化碎屑物由雨水或融雪水沿斜坡搬运及由本身的重力作用堆积在斜坡上或坡脚处而成	碎屑物从坡上往下逐渐变细,分选性差,层理不明显,厚度变化较大,厚度在斜坡较陡处较薄,坡脚地段较厚
洪 积 层	由暂时性洪流将山区或高地的大量风化碎屑物携带至沟口或平缓地带堆积而成	颗粒具有一定的分选性,但往往大小混杂,碎屑多呈亚棱角状,洪积扇顶部颗粒较粗,层理紊乱呈交错状,透镜体及夹层较多,边缘处颗粒细,层理清楚
冲积层	由长期的地表水流搬运,在河流阶地冲积平原,三角洲地带堆积而成	颗粒在河流上游较粗,向下游逐渐变细,分选性及磨圆度均好,层理清楚,除牛轭湖及某些河床相沉积
淤 积 层	在静水或缓慢的流水环境中沉积,并伴有生物化学作用而成	颗粒以粉粒、粘粒为主,且含有一定数量的有机质或盐类,一般土质较软,有时为淤泥质粘性土、粉土与粉砂互层,具清晰的薄层理

续表

成因类型	堆积方式及条件	堆积物特征
冰水沉积 和冰碛层	由冰川或冰川融化的冰下水进行搬运堆积而成	颗粒以巨大块石、碎石、砂、粉土、粘性土混合而成,一般分选性较差,无层理,但为冰水沉积时,常具斜层理,颗粒呈棱角状,巨大块石上常有冰川擦痕
风积层	在干旱气候条件下,碎屑物被风吹扬,降落堆积而成	颗粒主要由粉粒或砂粒组成,土质均匀,质纯,孔隙大,结构松散

土按有机质含量可分为无机土、有机质土、泥炭质土、泥炭。其鉴别特征见表 1-7。

表 1-7 土按有机质含量分类

分类 名称	有机物含量 Q (%)	现场鉴别特征	说 明
无机土	$Q < 5\%$		
有机 质 土	$5\% \leq Q \leq 10\%$	灰、黑色,有光泽,味臭,除腐植质外尚含少量未完全分解的动植物体,浸水后水面出现气泡,干燥后体积有收缩	①如现场能鉴别有机质土或有地区经验时,可不作有机质含量 Q 测定;②当 $w > w_p, 1.0 \leq e < 1.5$ 时称淤泥质土;当 $w > w_p, e \geq 1.5$ 时称淤泥
泥 灰 质 土	$10\% < Q \leq 60\%$	深灰或黑色,有腥臭味,能看到未完全分解的植物结构,浸水体胀、易崩解,有植物残渣浮于水中,干缩现象明显	根据地区特点和需要,也可按 Q 细分为: 弱泥炭质土($10\% < Q \leq 25\%$) 中泥炭质土($25\% < Q \leq 40\%$) 强泥炭质土($40\% < Q \leq 60\%$)
泥 炭	$Q > 60\%$	除有泥炭质土特征外,结构松散,土质极轻暗无光泽,干缩现象极为明显	

注:有机质含量 Q 按灼失量试验确定。

二、土的定名及鉴定方法

(一)土的综合定名

在工程实际中,进行土的分类鉴定时,需按工程需要以岩土组成为主要定名依据,并结合其成因年代及结构特征综合定名。定名时需符合下列规定:

1. 土除按颗粒级配或塑性指数定名外,对特殊成因年代的土类尚应结合其成因年代特征定名,如新近堆积砂质粉土、残坡积碎石土等。

2. 对特殊性土,必要时应结合颗粒级配或塑性指数综合定名。如淤泥质粘土、弱盐渍砂质粉土、碎石素填土等。

3. 若同一土层中相间成韵律沉积,厚度相差较大(厚度比为 $1/10 \sim 1/3$)时,可定名为“夹层”,厚的土层写在前面,如粘土夹粉砂层;厚度相差不大(厚度比大于 $1/3$)时,定名为“互层”,如粘土与粉砂互层;若在很厚的土层中夹有另一种非常薄(厚度比小于 $1/10$)的土层,且有规律地多次出现时,应以“夹薄层”定名,如粘土夹薄层粉砂。

4. 对残积、坡积、洪积、冰积等形成的混合土,应冠以主要含有的土类定名,如含碎石粘土、含粘土角砾等。

(二)土的鉴定方法

土的鉴定应在现场观察描述的基础上结合室内外试验,综合确定其工程地质特征。

1. 碎石土 应鉴定描述颗粒级配、形状、母岩成分、风化程度、充填物的性质和充填程度、密实程度及层理特征等。碎石土的密实程度可分为密实、中密和稍密。其野外鉴别方法见表 1-8。

表 1-8 碎石土密实度野外鉴别方法

密实度	骨架颗粒含量和排列	可 挖 性	可 钻 性
密实	骨架颗粒含量大于全重的 70%,呈交错排列,连续接触	锹镐挖掘困难,用撬棍方能松动;井壁一般较稳定	钻进极困难;冲击钻探时,钻杆、吊锤跳动剧烈;孔壁较稳定
中密	骨架颗粒含量等于全重的 60~70%,呈交错排列,大部分接触	锹镐可挖掘;井壁有掉块现象,从井壁取出大颗粒处,能保持颗粒凹面形状	钻进较困难;冲击钻探时,钻杆、吊锤跳动不剧烈;孔壁有坍塌现象
稍密	骨架颗粒含量小于全重的 60%,排列混乱,大部分不接触	锹可以挖掘;井壁易坍塌,从井壁取出大颗粒后,砂性土立即坍塌	钻进较容易;冲击钻探时,钻杆稍有跳动;孔壁易坍塌

注:①骨架颗粒系指与表 1-1 相对应颗粒粒径。

②碎石土的密实度,应按表列各项特征综合确定。

2. 砂土 应鉴定描述颜色、矿物组成、颗粒级配、颗粒形状、粘性土质量、湿度、密实度及层理特征等。对于地下水位以下或毛细饱和带中的砂土可描述为饱和。砂土的野外鉴别方法见表 1-9。

3. 粉土 应鉴定描述颜色、颗粒级配、包含物、湿度、密实度及层理特征等,其野外鉴别方法见表 1-10。

粉土的密实度根据孔隙比 e 可分为:

稍密 $e > 0.9$

中密 $0.9 \geq e \geq 0.75$

密实 $e < 0.75$

粉土的湿度根据含水量 w (%)可分为:

稍湿 $w < 20$

湿 $20 \leq w \leq 30$

很湿 $w > 30$

表 1-9 砂土的野外鉴别

鉴别特征	砾砂	粗砂	中砂	细砂	粉砂
观察颗粒粗细	约有 1/4 以上颗粒比荞麦或高粱粒(2mm)大	约有一半以上颗粒比小米粒(0.5mm)大	约有一半以上颗粒与砂糖或白菜籽(>0.25mm)近似	大部分颗粒与粗玉米粉(>0.1mm)近似	大部分颗粒与小米粉(<0.1mm)近似
干燥时状态	颗粒完全分散	颗粒完全分散,个别胶结	颗粒基本分散,部分胶结,胶结部分一碰散	颗粒大部分分散,少量胶结,胶结部分稍加碰撞即散	颗粒少部分分散,大部分胶结(稍加压即能分散)
湿润时用手拍后的状态	表面无变化	表面无变化	表面偶有水印	表面有水印(翻浆)	表面有显著翻浆现象
粘着程度	无粘着感	无粘着感	无粘着感	偶有轻微粘着感	有轻微粘着感

表 1-10 粘性土与粉土按塑性指数的分类及野外鉴别

鉴别方法 鉴别内容	类别 分 类		
	粘 土 $I_p > 17$	粉质粘土 $10 < I_p \leq 17$	粉 土 $I_p \leq 10$
湿润时用刀切	切面非常光滑,刀刃有粘腻的阻力	稍有光滑面,切面规则	无光滑面,切面比较粗糙
用手捻摸时的感觉	湿土用手捻摸有滑腻感,粘手,当水分较大时极易粘手感觉不到有颗粒的存在	仔细捻摸感觉到有少量细颗粒,稍有滑腻感,有粘滞感	感觉有细颗粒存在或感觉粗糙,有轻微粘滞感或无粘滞感
粘着程度	湿土极易粘着物体(包括金属与玻璃),干燥后不易剥去,用水反复洗才能去掉	能粘着物体,干燥后较易剥掉	一般不粘着物体,干燥后一碰就掉
湿土搓条情况	能搓成小于 0.5mm 的土条(长度不短于手掌),手持一端不致断裂	能搓成 0.5~2mm 的土条	能搓成 2~3mm 的土条
干土的性质	坚硬,类似陶器碎片,用锤击方可打碎,不易击成粉末	用锤易击碎,用手难捏碎	用手很易捏碎

4. 粘性土 应鉴定描述颜色、包含物、土层结构、层理特征及状态等。野外鉴别方法见表 1-10。粘性土状态据液性指数 I_L 可按表 1-11 分为坚硬、硬塑、可塑、软塑、流塑五类。

表 1-11 粘性土状态按液性指数 I_L 分类

状态分类	坚硬	硬塑	可塑	软塑	流塑
液性指数	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1.0$	$I_L > 1.0$

5. 特殊性土 除应鉴定、描述上述相应土类规定的内容外,尚应描述反映其特殊成分、状态和结构的特征。如对淤泥需描述臭味,对人工填土需描述其物质成分、密实度和厚度的均匀程度、堆积年代等。

6. 对具有夹层、互层、夹薄层特征的土层尚应描述各层的厚度及层理特征。

第二节 地基土的工程地质性质

从工程特性出发,可将土归纳为两大基本类型:一般土和特殊土。

一、一般土的工程地质性质

一般土可分为砾类土、砂类土和粘性土三类。砾类土、砂类土统称为无粘性土,它们的工程地质性质主要取决于粒度成分和土颗粒排列的松密程度。粘性土的工程地质性质主要取决于稠度状态、固结度、粘粒含量和粘土矿物的亲水性。

1. 砾类土通常将粒径大于 2mm 的土粒含量占 50% 以上的土称为砾类土。这类土颗粒粗大、孔隙大、透水性强、压缩性低、内摩擦角和抗剪强度大,但是当其孔隙中大量充填砂粒、粉粒和粘粒时,其工程地质性质会变差,透水性、内摩擦角、抗剪强度均会降低,压缩性增大。一般来说,砾类土是建筑物与构筑物的良好地基,其承载力可达 1.5~10.0MPa,甚至更大。可做为地基持力层。但如在地下水位埋藏浅时开挖基坑,不仅涌水量大,而且还会产生流砂、管涌、坑壁坍塌、边坡失稳等工程地质问题,工程施工时需加以处理。

2. 砂类土通常将砾石含量小于 50%、粘粒含量小于 6%,以砂粒为主的土称为砂类土。一般砂类土没有连结,呈单粒结构,透水性强、内摩擦角较大、压缩性低、压缩快速、抗剪强度大承载力亦较高,可达 0.15~0.5MPa。通常,粗、中砂土的上述特性明显,且一般构成良好地基,为较好的建筑材料,但可能产生涌水或渗漏。粉、细砂土的工程地质性质相对差,特别是饱水粉、细砂土受振动后易液化。

3. 粘性土通常将大于 2mm 土粒含量小于 10%、粘粒含量大于 6% 的土称为粘性土。粘性土的工程地质性质取决于粘粒含量、稠度、孔隙比。随着粘粒含量的增多,粘性土的塑性、胀缩性、透水性、压缩性、抗剪强度等都会发生显著的变化。随着施工进度会产生一系列问题,粘性土的承载力变化大,高者可达 0.45MPa 左右,低者仅 0.1MPa 左右。粘性土的变形量(沉降量)较之上述两类土均大,往往会引起地基的过量沉降、基坑边坡及坑底不稳定和降低地下水位困难等工程地质问题。

二、软土的工程地质性质

1. 软土的概念

软土一般是指在静水或缓慢流水环境中以细颗粒为主经生物化学作用形成的未经充分固结的近代沉积物。其天然含水量大、压缩性高、承载力低、渗透性小,是一种呈软塑到流塑状态的饱和粘性土。大多数情况下,软土的天然含水量 w 大于液限 w_l ;天然孔隙比 e 大于

1; 压缩系数 α_{1-2} 大于 0.5 MPa^{-1} ; 不排水抗剪强度 c 小于 20 kPa 。当软土由生物化学作用形成, 并含有机质, 其天然孔隙比 e 大于 1.5 (相当于天然含水量大于 55%) 时为淤泥; 天然孔隙比 e 小于 1.5 而大于 1.0 时为淤泥质土。淤泥和淤泥质土中小于 0.1 mm 颗粒的含量大于 50% 。工程上把淤泥和淤泥质土统称为软土。

2. 软土的成因类型和分布

软土按其沉积环境及其形成特征, 大致可分为四种成因类型, 见表 1-12。

表 1-12 软土的成因类型和形成特征

类型	成因	在我国主要分布情况	形成与特征
滨海沉积	泻湖相, 三角洲相, 滨海相, 溺谷相	东海、黄海、渤海等 沿海岸地区	在较弱的海浪岸流及潮汐的水动力作用下, 逐渐停积淤成。表层硬壳厚 $0 \sim 3 \text{ m}$, 下部为淤泥夹粉、细砂透镜体, 淤泥厚 $5 \sim 60 \text{ m}$, 常含贝壳及海生物残骸, 表层硬壳之下, 局部有薄层泥炭透镜体。滨海相淤泥常与砾砂相混杂, 极疏松, 透水性强, 易于压缩固结, 三角洲相多薄层交错砂层, 水平渗透性较好。泻湖相、溺谷相淤积一般更深, 松软。
湖泊沉积	湖相, 三角洲相	洞庭、太湖、鄱阳、洪泽湖周边, 古云梦泽边缘地带	淡水湖盆沉积物, 在稳定的湖水期逐渐沉积, 沉积相带有季节性, 粉土颗粒占主要成分。表层硬壳厚 $0 \sim 5 \text{ m}$, 淤泥厚度一般 $5 \sim 25 \text{ m}$, 泥炭层多呈透镜体, 但分布不多。
河滩沉积	河床相, 河漫滩相, 牛轭湖相	长江中下游、珠江下游、韩江下游及河口、淮河平原、松辽平原、闽江下游	平原河流行速减小, 水中携带的粘土颗粒缓慢沉积而成, 成层不匀, 以淤泥及软粘土为主, 含砂与泥炭夹层, 厚度一般 $< 20 \text{ m}$ 。
谷地沉积或残积土		西南、南方山区或丘陵区	在山区或丘陵区地表水带有大量含有机质的粘性土, 汇集于平缓谷地之后, 流速减低, 淤积而成软土, 山区谷地也有残积的软土, 其成分与性质差异性很大, 上覆硬壳厚度不一, 软土底板坡度较大, 极易造成工程变形。

上述各种成因的软土, 按其分布地域, 可归纳为两大类: 一是为沿海软土, 主要分布在沿海和各大河流的入海口处, 如上海、广州(三角洲相)、天津塘沽、连云港(滨海相)温州、宁波(泻湖相), 福州(溺谷相)。这类软土分布广, 其厚度由数米至数十米不等, 土质很软弱。另一类为内陆平原及山区软土, 主要分布在洞庭湖、洪泽湖、太湖等流域和昆明滇池等湖沼地区。

以及山前倾斜平原、洪、冲积扇边缘、冲沟口、古河道、山间谷地、河谷低洼地、沼泽地等。这类软土分布面积较小，厚度变化亦大，多呈透镜体状，土质软弱程度不同，且在较短的距离内变化较大。

3. 软土的工程地质特性

在特定环境下形成的软土，具有其特殊的结构和成分，因而在工程地质性质上表现出如下的某些特性，见表 1-13。

(1) 高天然含水量和大孔隙比。软土的天然含水量一般均大于液限，据统计一般都大于 30%，最大者如昆明滇池中的肥淤泥和泥炭，其天然含水量达到 200%。含水量与液限成正比关系变化(图 1-1)。在这样高的含水量下，软土的饱和度一般都大于 90%，即处于饱和状态。液限一般在 35~60% 之间，随土的矿物成分、胶体矿物的活性因素而定。含水量高也必然反映软土的天然孔隙比大，一般为

1.0~2.0，或者更大。据统计含水量(w)与孔隙比(e)之间呈明显的直线关系(图 1-2)，其回归方程为

$$w - 36.67e = 0.982 \quad 1-1$$

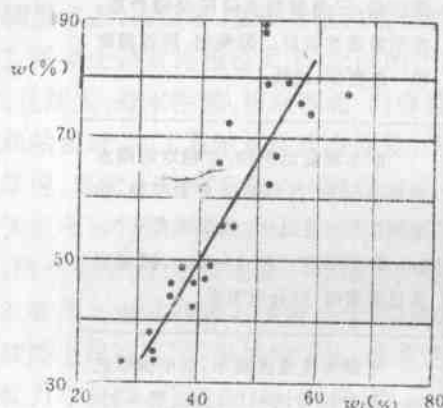


图 1-1 含水量与液限的关系

据统计分析，含水量和孔隙比这两项指标，不但与其它指标有明显关系，并对地基承载力也有显著影响。考虑到软土的含水量测定方便，而取样时的扰动作用对孔隙比的影响较大，因此《建筑地基基础设计规范(GBJ7-89)》要求选择天然含水量作

为确定软土地基承载力基本值的指标。

(2) 弱透水性。软土的透水性很低。又由于大部分软土地层中存在着带状夹砂层，所以在垂直方向和水平方向的渗透系数不一样，一般垂直方向的渗透系数要小些，其值约在 10^{-7} ~ 10^{-9} cm/s 之间，水平方向渗透系数为 10^{-4} ~ 10^{-5} cm/s。因而土在压力作用下的固结过程

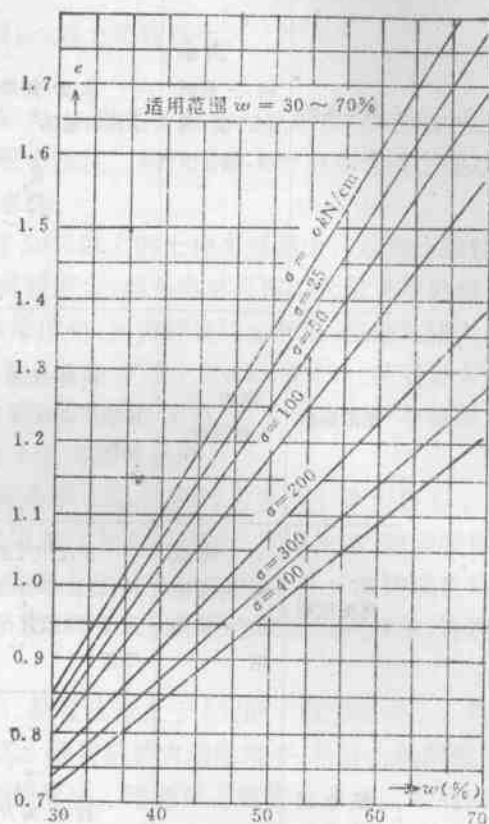


图 1-2 粘土在不同固结压力条件下
的孔隙比与天然含水量关系图

表 1-13 我国一些地区软土的物理力学性质指标

成因地区	土层埋深 (m)	含水量 w (%)	容重 (kN/m^3)	孔隙比 e	液限 w_L (%)	塑性指数 I_P (%)	液性指数 I_L	有机质含量 (%)	压缩系数 a_{1-2} (MPa^{-1})	渗透系数 K (cm/s)	快剪		无侧限抗压 强度 C_u (kpa)
											φ	c (kpa)	
三角洲相	上海	50 37	17.2 17.9	1.37 1.05	43 34	20 13	1.16 1.05	1.24	0.72	6×10^{-7} 2×10^{-6}	6 11	16 14	20.0~40.0
	杭州	47 35	17.3 18.4	1.34 1.02	41 33	19 15			1.30 1.17				
	广州	73	10.0	1.82	46	19			10.8	3×10^{-6}			
湖泊相	福州	68 42	15.0 17.1	1.87 1.17	54 41	29 21	2.4 1.4	8~14	2.05 0.70	8×10^{-6} 5×10^{-7}		5.0~18.0	
泻湖相	宁波	56 38	17.0 18.6	1.58 1.08	46 36	19 15	1.23 1.11		2.50 0.72	3×10^{-6} 7×10^{-6}			60.0~48.5
	温州	63	16.2	17.9	53	30	1.5	5~8	1.98		6	2	
滨海相	天津	34	18.2	0.97	34	17	1.1		0.15	1×10^{-7}	2	13	
	塘沽	47 39	17.7 18.1	1.31 1.07	42 34	22 15		5~10	0.97 0.65	2×10^{-7}	2	13	
	新港	79 58	15.5 16.5	2.05 1.66	67	36 26	1.33 1.09	5~10	1.23 0.88				
沼泽相	水城	91 71	14.7 15.7	2.30 1.86	77 72	34 32	1.47 1.01	17.1	2.14 1.18				
	盘县	83	14.7	2.19	75	32	1.32	19.7	2.25				