

国家自然科学基金(40376015)资助

海洋工程地质专论

冯秀丽 沈渭铨 等 编著

HAIYANG
GONGCHENG
DIZHI ZHUANLUN



中国海洋大学出版社

国家自然科学基金(40376015)资助

海洋工程地质专论

冯秀丽 沈渭铨 等 编著

中国海洋大学出版社

• 青岛 •

内容简介

本书系统阐述海洋工程建设中经常遇到的一些主要工程地质问题,论述了海洋土的工程分类、海洋土的工程性质、海洋工程地质调查方法和手段、海洋灾害地质和底坡不稳定性等问题。重点探讨了现代黄河水下三角洲土体工程特性、海底土对波浪作用的孔压响应及桩基周围的冲刷,为海洋油气资源开发、管线铺设、跨海大桥、军事工程、海上旅游、岸滩保护等工程建设提供科学依据,为黄河三角洲的科学规划和可持续开发提供科学依据。本书可作为海洋科技工程及管理人員的参考书,也可作为大专院校海洋类、地质类和工程类专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

海洋工程地质专论/冯秀丽等编著. —青岛:中国海洋大学出版社,2006.12
ISBN 7-81067-682-2

I. 海... II. 冯... III. 海洋工程—工程地质—研究 IV. P736

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 148339 号

海洋工程地质专论

冯秀丽 沈渭铨 等编著

出版发行 中国海洋大学出版社

社 址 青岛市香港东路 23 号 邮政编码 266071

网 址 <http://www2.ouc.edu.cn/cbs>

电子信箱 cbs@ouc.edu.cn

订购电话 0532—82032573 82032573(传真)

责任编辑 李学伦 电 话 0532—85902387

印 制 日照报业印刷有限公司

版 次 2006 年 12 月第 1 版

印 次 2006 年 12 月第 1 次印刷

开 本 787 mm×960 mm 1/16

印 张 11.5

字 数 210 千字

定 价 23.50 元

版权所有 侵权必究

前 言

“21 世纪是海洋的世纪”。海洋蕴藏着极为丰富的生物、化学、矿物、动力等资源,是人类进一步发展的重要空间。根据 1994 年生效的《联合国海洋法公约》规定,我国可管辖海域面积约为 300 万平方千米,这片“蓝色国土”是我国国民经济和社会可持续发展及对外开放的重要战略领域。

随着海洋资源的开发和利用,海上工程构筑物越来越多,同时出现了许多与海洋工程建设有关的工程地质问题,如钻井时发生的井喷和自燃、平台的滑移和倾斜、管线的断裂等。针对这些新问题以及海洋环境的复杂性和特殊性,相应诞生了海洋工程地质研究这一分支学科。

海洋工程地质是近年来新兴的一个学科方向,它是海洋学、海洋地质学、工程地质学、地基处理等学科的相互交叉渗透而产生的。它不仅进行传统的海底沉积物本身的地质学性质研究,而且要预测其对浪、潮、流等海洋动力的响应,尤其是人类工程活动作为外部荷载或边界条件,加入到海洋地质环境中时,导致系统平衡失稳引发的地质灾害,这些问题正在成为当今地球科学领域的研究热点。

中国海洋大学河口海岸带研究所、海洋地球科学系(原海洋地质系)等教学科研群体长期从事河口海岸带、近海地质灾害、大洋地质调查等方面的研究工作,先后完成和承担与本领域相关的“八五”、“九五”、“十五”、“863”攻关项目、国家自然科学基金项目多项,应用开发项目数十项。在海洋工程地质环境评价、区划与工程控制、海洋动力-工程构筑物-海底土相互作用、以及构筑物与地质环境的相互作用、海底不稳定性地质体形成及活动机理、极端海洋

条件下的海底运动(如海底砂土液化、浅地层软弱层形变、海底滑坡、海底塌陷、海底冲刷等)及机理、工程建设后可能产生的地质灾害进行预测研究等方面,取得了很多有意义、有影响的成果。在国际合作研究方面也做了大量工作,如黄河口的中美联合调查,对现行河口底坡稳定性进行了系统研究;再如国家自然科学基金“海上平台桶形基础及其作用下粉质土海床失稳机制研究”,与挪威科技大学合作,对负压沉贯过程中粉质土海床失稳机制研究工作上取得较大进展。总之,这些研究成果的积累为本书的编写奠定了基础。

本书涉及的内容主要有海洋土工程分类、分布特征、灾害类型、调查方法等,重点探讨了现代黄河水下三角洲土体工程特性、海底土对波浪作用的孔压响应及桩基周围的冲刷,为海洋油气资源开发、管线铺设、跨海大桥、军事工程、渔业工程、海上旅游、岸滩保护等工程建设提供科学依据,为黄河三角洲的科学规划和可持续发展提供科学依据。

本书关于海洋土工程分类中的“粘性土”、“粘土”等的“粘”字,是海洋工程地质乃至地质学中通常的用法。如中华人民共和国国家标准(GB/T13909—92):《海洋调查规范·海洋地质地球物理调查》(国家技术监督局发布)中,底质样品描述及沉积物粘度分析所涉及的“粘土”均为“粘”字,特此说明。

2005年我们曾聘请有关专家对本书初稿进行评审,根据专家意见进行了认真修改、补充,特别补充了基金项目和研究成果。

在编写与出版过程中得到学校和海洋地球科学学院有关领导的支持,特别得到杨作升、李广雪、曹立华、陆念祖、吴建政、贾永刚等教授的热心帮助,在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平所限,本书的错误和不足之处在所难免,请专家和读者指正。

冯秀丽

2006年10月

目 次

绪 论	沈渭铨 冯秀丽(1)
0.1 海洋工程地质研究的对象和内容	(1)
0.2 海洋工程地质研究的方法	(2)
0.3 海洋工程地质学研究的意义	(4)
0.4 海洋工程地质学的形成与发展	(4)
第 1 章 海洋土的工程分类	林霖 章伟(7)
1.1 交通部港口工程地质勘察规范中的土质分类	(7)
1.2 ASTM 规范土的分类	(12)
1.3 海洋底质调查技术规程中土的工程分类	(17)
1.4 深海、半深海沉积物分类方法	(21)
第 2 章 海洋沉积物的分布和工程性质	刘浩 杨荣民(24)
2.1 海洋沉积物的起源和分布	(24)
2.2 海洋土的原位应力状态	(31)
2.3 海洋土的物质组成和微结构特征	(33)
2.4 海洋土的工程特性	(41)
第 3 章 海洋灾害地质和海底底坡的不稳定性	李安龙 冯秀丽(45)
3.1 概述	(45)
3.2 海底灾害地质的研究对象、内容和特点	(46)
3.3 陆架区海底灾害地质因素分类	(48)
3.4 海底地质因素特征与危险性分析	(54)
3.5 海底底坡稳定性分析	(61)
3.6 海洋灾害地质调查方法	(70)
第 4 章 海洋工程地质调查的现场试验和原位测试	
.....	蒲高军 黄明泉(73)

4.1	区域海洋工程地质调查	(74)
4.2	十字板剪切试验	(79)
4.3	静力触探	(82)
4.4	T型尺试验	(88)
4.5	标准贯入试验	(90)
4.6	载荷试验	(93)
4.7	横压试验	(96)
4.8	其他原位测试试验	(101)
4.9	各种测试结果的可靠程度	(102)
 第5章 现代黄河水下三角洲土体工程特性		
	 冯秀丽 杨少丽 陈之贺	(105)
5.1	现代黄河口区沉积环境与沉积物工程性质的关系	(105)
5.2	废弃河口三角洲沉积物分布特征及工程地质性质	(112)
5.3	现代黄河水下三角洲粉土液化可能性评价	(116)
5.4	现代黄河三角洲黄河粉土触变性	(125)
5.5	现代黄河水下三角洲软土工程地质特性	(129)
 第6章 海底土对波浪作用的孔压响应		
	 冯秀丽 刘晓瑜 董卫卫	(137)
6.1	波浪槽物理模型试验	(137)
6.2	海上原位孔压监测试验结果分析	(147)
6.3	动荷载作用下海底土的孔压响应	(153)
 第7章 波浪和流作用下桩柱周围的局部冲刷		
	 冯秀丽 王园君 孙 晶	(160)
7.1	物理模型试验	(160)
7.2	流作用下桩柱周围的局部冲刷	(161)
7.3	波浪作用下桩柱周围的局部冲刷	(166)
7.4	波-流共同作用下桩柱周围的局部冲刷	(168)
7.5	野外实际资料验证	(173)

绪 论

地球表面近 71% 被海水覆盖, 海洋蕴藏着极为丰富的生物、化学、矿物、动力等资源, 向海洋发展是解决人类社会面临的人口、资源、环境问题的主要途径之一。海洋工程地质研究是海洋资源开发和利用中的重要基础工作。

0.1 海洋工程地质研究的对象和内容

海洋工程地质是近年来新兴的一个学科, 它是海洋地质学、海洋动力学、工程地质学、地基处理等学科相互交叉渗透的产物。海洋工程地质是研究与海洋工程建筑有关的地质问题的科学, 主要是研究海岸带和海底与工程建设有关的各种地质、地貌特征及其作用, 包括海底地貌特征及其变迁、建造和沉积环境、沉积作用、沉积物工程性质以及对各种海洋工程进行工程地质勘察的方法和手段等问题。同时还要分析地基土对浪、潮、流等海洋动力的响应, 尤其是人类工程活动作为外部荷载或边界条件, 加入到海洋地质环境中时, 预测导致系统平衡失稳可能引发的地质灾害, 从而决定工程方案, 以保证建筑物的安全与稳定。

作为海洋科学的三大内容(即海洋基础调查、海洋开发和海洋工程)之一的海洋工程, 包括发展海洋科学所需技术、勘探和利用海洋及其资源所需的技术。海洋工程包括所有海洋和海岸的水上和下的军事和民用工程设施, 其范围是相当广泛的。诸如海湾工程建设(港口、船厂、海湾水库、跨海大桥、围海造田及海上机场、海上游乐城等); 海洋动力工程(潮汐、波浪及海水温差发电站); 以海底油气勘探开发为中心的海洋矿产资源开发的海洋工程(海洋石油钻井平台、人工岛、单点系泊、海底贮油罐(库)及海底输油管等); 与通讯和供电有关的海洋工程(海底电缆、光缆)及与污水排海有关的(排污管道)、与交通有关的(锚地工程、跨海大桥、海底隧道)、与旅游工程有关的(海底游乐场、海底大世界、迷宫及海中瞭望塔、海上观光塔等)海洋工程; 海洋居住实验室是载人水下活动的一项重要的海洋工程, 深海研究的工程技术和装置(深海探矿潜水器、不载人的深潜装置及深海钻探等)及军事

海洋工程(军事基地、水下补给基地、水下工厂、布设水下观测系统及反潜环境预报系统等)。

由于海洋工程的种类繁多,加之工程地质条件随地而异、千变万化,这就使得海洋工程地质涉及的问题既广泛又复杂,海洋工程地质研究就更为重要。

0.2 海洋工程地质研究的方法

凡是一门独立的学科,都有它自己研究的对象、内容、方法和科学的体系。研究方法和它的研究内容是相适应的,为了解决海洋工程地质学的问题,需运用各种综合的研究方法,其中主要的有自然历史分析法、试验方法、计算方法以及宏观与微观研究相结合的方法等。

0.2.1 自然历史分析法

自然历史分析法,也就是地质学的方法。地壳(包括洋壳)上任一地区地质体和各种地质现象、地质条件都是地质历史上地质作用及其发展的结果,它们的特性也是在自然历史发展过程中形成的,而且随着所处条件的变化,还要继续发展和变化。

每一种地质现象都不是孤立的,而是受一系列的自然历史因素制约的,与其他现象密切联系着的。因此,要正确确定海洋工程建筑地区的条件,查明各种地质现象以及它们之间的关系,预测工程建成后地质条件可能产生的变化,并提出分期分阶段应采取的工程措施。只有这样,才能真正查明建筑地区的海洋工程地质条件。由此可见,从事海洋工程地质研究都不能脱离自然历史条件,都必须应用自然历史分析法,否则就不能真正查明研究区的海洋工程地质条件,更谈不上作出深入的研究、论证和正确评价。

在实际工作中,许多海洋工程地质勘探工作出现的问题和错误,都是由最基本的地质工作没有做好,离开了自然历史的分析法之故。

0.2.2 试验方法

试验方法是海洋工程地质实际工作中不可缺少的重要方法。因为仅仅用自然历史分析法是不够的,海洋工程建筑要求作定性和定量全面的工程地质评价,而仅仅采用自然历史分析法只能作出定性和区域性的评价,而生产实践要求定量评价,为了对某一海洋工程建筑物进行全面评价或深入研究某一海区的工程地质问题,必须采用定量研究的方法。因此,在海洋工程地质勘察实践中广泛采用试验方法。

在海洋工程地质研究中,试验方法分原位(野外现场)试验和室内试验两大类。通过这两类试验取得海洋沉积物和岩石的各种物理与力学指标,这些指标是海洋工程建筑物设计和施工不可缺少的重要科学依据。野外试验工作常采用的方法有十字板剪力试验、旁压试验、静力触探和标准贯入试验等。室内试验主要是将野外取得的岩土样品在实验室内作岩土的物理力学性质的常规试验和特殊项目的试验。由于在海洋环境中取得原状样是比较困难的,故原位试验(现场)已成为重要的发展方向。

0.2.3 计算方法

计算方法是定量研究方法的一种,也是海洋工程地质常用的一种方法。在进行定量评价时,须根据用试验方法所得的数据,利用有关的理论和经验公式进行计算,得出设计和施工所需的有关海洋工程地质条件和地质现象的定量评价。在论证海洋工程地质问题时,通过计算方法作出定量分析是重要的,但这绝对不意味着可以忽视通过自然历史分析法进行的定性分析。对于忽视定量或定性评价相结合的倾向都应该加以防止。

0.2.4 宏观与微观研究相结合的方法

宏观与微观研究相结合的方法也是很重要的研究方法,由于海水的作用及高压低温的条件,对海洋沉积物微结构有重大影响,而微结构对沉积物的应力—应变(抗剪强度、压缩性)等的影响是很大的。只有研究沉积物的微结构,才能了解其物理力学性质产生的机制,微结构是海洋沉积物的基本组成单位,微结构网形成宏观的构造。因此,要想对沉积物的特性作深入细致的研究,两者必须相结合进行。用扫描电子显微镜比普通显微镜优越,因为它有较大的放大倍数和视穿透深度,可以展视给我们关于微结构的清晰图案,也可以很容易地认识沉积物的物理力学性质,可以得到用其他方法未能认识的一些规律,这有助于加强沉积物宏观构造与微结构的研究,将为沉积作用及各种动力作用所涉及的海洋工程地质问题的研究提供有价值的资料。

0.2.5 工程物探方法

为了宏观了解区域工程地质特征,减少钻探工作量,目前工程物探方法在海洋工程地质勘查中使用越来越多。地震勘探法是海洋上应用最广泛、发展最迅速的物探方法。岩层中地震波的传播速度与岩土的岩性、颗粒、孔隙度、压力、温度以及岩土孔隙中流体的性质以及其饱和度有关,而土的性质主要决定于孔隙度和饱和状态,这就使运用地震法了解岩土的物理力学性质成为可能。声学测量是一种既快又经济的新方法,近年来引起人们的广泛重视和兴趣。

0.3 海洋工程地质学研究的意义

海洋工程地质的研究,无论是从理论上还是实践上都具有重要意义。海洋沉积物性质的研究是海洋沉积的基础研究,海洋沉积物工程性质的研究是当前海洋沉积学或海洋地质学的一项重大理论课题。近年来,国家重点基础研究发展计划(973 计划)、国家自然科学基金中有多个项目研究涉及有关内容。

海洋沉积物工程性质的研究和综合分析,对了解如侵蚀、搬运、沉积、滑动、成岩等作用 and 过程都是必要的,有助于了解海洋沉积物的来源,固结过程和沉积历史;有助于对各海域的海洋沉积物进行对比研究,便于划分沉积环境和掌握海洋沉积物的空间分布、变异规律及对海底底坡稳定性的预测等。因此,具有重大理论意义。

广阔的海底,绝大部分被松软的海洋沉积物所覆盖。在海洋环境中,强劲多变的海风,威力惊人的海浪,定时涨落的潮汐,川流不息的海流作用使海洋沉积物长期经历着再悬浮、再搬运和再沉积的过程,难以稳定下来。建在未固结软弱海洋沉积物上的建筑物易发生各种事故,甚至延续多年。

海洋沉积物的物理力学性质指标,一方面可作为海洋工程建筑设计不可缺少的重要参数,另一方面可作为在建筑物施工过程和竣工数年后的长期观测分析中,为防止出现各种事故采取防范措施的指导。倘若对建筑区的海洋工程地质条件评价不当或对海洋工程建筑物可能出现的问题认识不足,未能及时采取工程措施而危及建筑物的安全,就会造成严重的后果,在经济上导致重大的损失。由此可见,进行海洋工程地质研究不仅具有重要的理论意义,而且具有重大的实际意义。

0.4 海洋工程地质学的形成与发展

海洋工程地质学自诞生至今已经历了半个多世纪。它起始于美国着手开采墨西哥湾海洋石油的 1947 年,其工作主要是围绕钻井灾害和海洋结构物场地进行的。20 世纪 50 年代各国开始重视海洋工程地质工作,特别是近三四十年来得到突飞猛进的发展,目前已成为具有代表性的一门工程学科。在近海资源、海洋土的性质、在周期荷载作用下海洋土的性质、海洋工程地质调查方法、近岸重力式结构物基础、桩基基础、海底稳定性等方面积累了

丰富的研究成果和经验。

目前,许多国家对海洋工程地质研究已从近岸浅海扩展到深海,涉及的主要问题是深水勘探设备、取样技术和船只的发展。为了查清深海海底地形和沉积物物理力学性质以及解决海洋工程的实施问题,利用海洋调查船、深潜艇、有人和无人控制的深潜设备、水下实验室以及海底电视、海底照相等先进设备和仪器进行海洋调查和直观测试能解决很多问题。但随着海洋地质科学的迅速发展和海底矿物资源的开发利用以及深入了解地球洋壳的各种特征,上述现有的手段已不能满足工作上的需要。所以进行深海钻探成了海洋地质科学及海洋工程地质能否取得重大突破和迅速发展的一个极为重要的步骤。

美国的斯克里普斯海洋研究所、拉蒙拉-多尔蒂地质研究所、伍兹霍尔海洋研究所等 5 个单位在美国科学基金会的支持下于 1968 年发起了深海钻探计划(DSDP),后有前苏联、联邦德国、英、法、日等国相继参加,1975 年成为一项国际性的大洋钻探计划(ODP),我国于 1998 年参与大洋钻探计划。2003 年 10 月 1 日,引领国际地学潮流 35 年的深海/大洋钻探计划(DSDP/ODP)正式转入综合大洋钻探计划(IODP)。

深海钻探的目的在于揭示海洋沉积物的性质及其形成的历史过程,了解海洋地壳的性质,探讨海洋构造的演化史,追溯地球的热力演化过程等。通过深海钻探及调查设备、试验技术方法的改造和提高,大量宝贵资料的积累,也为各种海洋工程的设计和施工以及深海底的应用提供了极重要的科学依据。

我国海域辽阔、海岸线漫长曲折、港湾众多。新中国成立以来,我国对众多的优良海港进行了扩建新建,使海港面貌焕然一新,特别是在耳形湾深水开敞式码头的建设中开创了新的局面,使远洋货运能力大幅度提高。在渤海、南黄海、东海和南海分别开辟了海上石油基地,促进了石油工业和国民经济的发展。

为了更好地开发利用海洋,给国民经济各部门提供科学依据,1958 年开展了全国海洋普查,取得了海洋科学各学科大量的基础资料,在“七五”和“八五”期间又开展了全国海岸带和海涂资源的综合调查和海岛资源的综合调查,为我国海岸带和海岛的开发和建设提供了系统的科学资料。

近年来,我国有关部门对东海和黄海及南海等海域大陆架进行了广泛深入的调查,取得了许多重要的科研成果。1980 年开始,中美合作对长江口和黄河口沉积作用过程进行考察(其中包括沉积物工程特性和研究),掌握

了部分海域沉积作用的一些资料,特别是国家“九五”和“十五”863 项目的研究成果,为我国海洋资源勘探开发提供了许多具有自主知识产权的高技术支撑,为海洋工程地质研究开拓了无限前景。

虽然我国在海洋工程地质调查研究中已经取得了较大的成绩,在某些方面积累了有价值的资料,但与世界先进水平相比还存在着不小的差距,国家有关部门已考虑全方位加强海洋工程地质工作,有望在短时间内使我国工程地质研究上一个新台阶。

第 1 章 海洋土的工程分类

海洋土的工程分类是海洋工程地质中一个重要的基础理论研究课题,其主要的任务是将作为海洋工程建筑物的各种地基土和岩石,按其工程性质的近似程度划分为若干类和组,它是现代海洋工程地质研究现状的总结,可以反映现阶段海洋土研究的水平。

最近几年随着海洋工程地质学科的发展,在海洋土的工程分类中,出现了一些不同于陆地工程地质和海洋地质的分类方案,并逐步地被从事海洋工程地质研究的单位所认可,其中有代表性的如我国交通部港口工程地质勘察规范中的土质分类方案,以及在海洋工程上使用较多的美国的 ASTM 规范。

应该指出,每一分类方案都有优点、缺点或不足之处,一个新的方案能被大家所接受还需要时间,另外新的方案也需要工程实践来进行验证,不断修改、补充和完善,虽然如此,我们还是可以以分类为指导,继续深入研究未详细研究的或尚未研究过的具体岩土或性质,以取得对其特殊本质的再认识。下面就简单介绍一下这两种分类方案。

1.1 交通部港口工程地质勘察规范中的土质分类

在港口工程地质勘察规范(JTJ240—97)中将作为港口工程地基土和场地的岩土分为岩石、碎石土、砂土和粘性土四大类,港口工程地基规范(JTJ250—98)中也同样采用该分类方案。

1.1.1 岩石的分类

岩石指天然形成的有一定联结强度的矿物或岩屑的集合体,一般指单个的岩石块体。

岩石按其成因分为岩浆岩、沉积岩、变质岩,根据其强度分为硬质岩石和软质岩石(表 1.1)。根据其风化程度划分为未风化、微风化、中等风化、强风化和全风化岩石。根据其软化系数 K_R (为饱和与风干状态的岩石单轴极限抗压强度之比)分为软化岩石($K_R \leq 0.75$)和不软化岩石($K_R > 0.75$)。

表 1.1 按岩石强度分类

类别	亚类	强度 (MPa)	代 表 性 岩 石
硬 质 岩 石	极硬岩石	>60	花岗岩、流纹岩、闪长岩、安山岩、辉长岩、玄武岩、辉绿岩、伟晶岩、硅质砂岩或砾岩、石灰岩、白云岩、片麻岩、石英岩、石英砂岩、硅质板岩等
	次硬岩石	30~60	
软 质 岩 石	次软岩石	5~30	粘土岩、页岩、泥质胶结的砂岩或砾岩、泥灰岩、火山凝灰岩、粘土质板岩、千枚岩、云母片岩、绿泥石片岩等
	极软岩石	<5	

注:强度指新鲜岩块的单轴饱和极限抗压强度。

1.1.2 根据颗粒级配或塑性指数对土的分类

(1) 碎石土

粒径大于 2 mm 的颗粒含量超过总质量 50% 的土,根据粒组含量及形状可进一步划分为漂石(块石)、卵石(碎石)和圆砾(角砾)(表 1.2)。

表 1.2 碎石土的分类

土的名称	颗粒形状	粒组含量
漂石	圆形、亚圆形为主	粒径 > 200 mm 的颗粒超过总质量的 50%
块石	棱角形为主	
卵石	圆形、亚圆形为主	粒径 > 20 mm 的颗粒超过总质量的 50%
碎石	棱角形为主	
圆砾	圆形、亚圆形为主	粒径 > 2 mm 的颗粒超过总质量的 50%
角砾	棱角形为主	

(2) 砂土

粒径大于 2 mm 的颗粒含量不超过总质量 50%,且粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量超过总质量的 50% 的土,根据粒组含量可进一步细分为砾砂、粗砂、中砂、细砂、粉砂(表 1.3)。

(3) 粉土

粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量等于或不超过总质量的 50%，且塑性指数小于或等于 10 的土，根据粘粒含量 M_c 又可分为粘质粉土 ($10 \leq M_c < 15$) 和砂质粉土 ($3 \leq M_c < 10$)。

表 1.3 砂土分类

土的名称	粒组含量
砾砂	粒径 > 2 mm 的颗粒占总质量的 25%~50%
粗砂	粒径 > 0.5 mm 的颗粒超过总质量的 50%
中砂	粒径 > 0.25 mm 的颗粒超过总质量的 50%
细砂	粒径 > 0.075 mm 的颗粒超过总质量的 85%
粉砂	粒径 > 0.075 mm 的颗粒超过总质量的 50%

(4) 粘性土

塑性指数 I_p 大于 10 的土，根据 I_p 值的大小可进一步划分为粘土 ($I_p > 17$) 和粉质粘土 ($10 < I_p \leq 17$)。

砂土按其密实度可分为松散、稍密、中密、密实、极密实五类，其密实度根据标准贯入击数 N 来判定 (表 1.4)。

粘性土的状态根据液性指数 I_L 确定 (表 1.5)，粘性土的天然状态根据标贯击数 N (表 1.6) 和锥沉量 h (76 g 液限仪沉入土中的毫米数) 确定 (表 1.7)。

表 1.4 砂土按密实度分类

标准贯入击数 N	密实度	标准贯入击数 N	密实度
$N \leq 10$	松散	$30 < N \leq 50$	密实
$10 < N \leq 15$	稍密	$N > 50$	极密实
$15 < N \leq 30$	中密		

表 1.5 粘性土的状态

状态	坚硬	硬塑	可塑	软塑	流塑
液性指数 I_L	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1$	$I_L > 1$

表 1.6 粘性土的天然状态

粘性土状态	坚硬	硬	中等	软	很软
N	30~15	15~8	8~4	4~2	< 2

表 1.7 粘性土的天然状态

粘性土状态	坚硬	硬塑	可塑	软塑	流塑	流动
锥沉量 $h(\text{mm})$	$h < 2$	$2 \leq h < 3$	$3 \leq h < 5$	$5 \leq h < 7$	$7 \leq h < 10$	$h \geq 10$

1.1.3 根据土的堆积年代对土的分类

规范中根据土的堆积年代将天然土划分为老堆积土、一般堆积土、新近堆积土三种。老堆积土指第四纪晚更新(Q_3)及其以前堆积的土;一般堆积土指第四纪全新世(Q_4)文化期以前堆积的土;新近堆积土指第四纪全新世(Q_4)文化期以来新近堆积的土。

1.1.4 根据土的地质成因对土的分类

规范中根据土的地质成因将土分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、冰积土、海积土和风积土。常见的花岗岩残积土又可根据其中大于 2 mm 的颗粒含量进一步细分为砾质粘性土、砂质粘性土、粘性土(表 1.8)。

表 1.8 花岗岩残积土分类

土 的 名 称	$>2\text{ mm}$ 颗粒含量(%)
砾质粘性土	>20
砂质粘性土	$5 \sim 20$
粘性土	<5

1.1.5 根据沉积物的沉积环境及沉积结构对土的分类

(1) 淤泥土

淤泥土指在静水或缓慢的流水环境中沉积、天然含水率大于液限、天然孔隙比大于 1.0 的粘性土。根据其含水率 ω 和孔隙比 e 可进一步分为淤泥质土、淤泥、流泥和浮泥(表 1.9)。根据塑性指数又可将淤泥质土划分为淤泥质粘土($I_p > 17$)和淤泥质粉质粘土($10 < I_p \leq 17$)。

表 1.9 淤泥质土的分类

指标 名称	孔隙比 e	含水率 $\omega(\%)$	指标 名称	孔隙比 e	含水率 $\omega(\%)$
淤泥质土	$1.0 < e \leq 1.5$	$36 < \omega \leq 55$	流泥		$85 < \omega \leq 150$
淤泥	$1.5 < e \leq 2.4$	$55 < \omega \leq 85$	浮泥		$\omega > 150$

(2) 混合土