

高职高专“十五”规划教材

GAOZHI
GAOZHUAN
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

土力学与地基基础

徐梓炘 张曙光 杨太生 合编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

高职高专“十五”规划教材

GAOZHI
GAOZHUAN
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

土力学与地基基础

徐梓妍、张曙光 杨太生 合编
陈东佐 主审



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为高职高专“十五”规划教材,是根据2002版GB 50007—2002《建筑地基基础设计规范》、GB 50202—2002《建筑地基基础工程施工质量验收规范》等新规范编写。全书包括土的物理性质及工程分类、土中应力与地基变形、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、基槽检验与局部处理、基坑开挖与支护、天然地基上的浅基础、桩基础、地基处理与区域性地基等内容。每章后附有思考题或习题,书末附有土工试验指导书和实训指导书。全书内容简明扼要、重点突出、实用性强、实例较多、通俗易懂、便于自学。

本书适合高等职业技术学院、高等专科学校及成人教育学院等大专层次的房屋建筑专业、建筑施工与管理专业等土建类专业使用,也可供道路与桥梁工程等交通土建类专业参考,还可作为广大工程技术人员的学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/徐梓州,张曙光,杨太生合编. —北京:
中国电力出版社, 2004.

高职高专“十五”规划教材

ISBN 7-5083-1683-5

I. 土... II. ①徐... ②张... ③杨... III. ①土力学-高等学校:技术学校-教材 ②地基-基础(工程)-高等学校:技术学校-教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 122233 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

三河汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 1 月第一版 2004 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 12.75 印张 289 千字

印数 0001—3000 册 定价 19.80 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)



随着新世纪的到来,我国进入全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。新世纪新阶段的新任务,对我国高等职业教育提出了新要求。我国加入世界贸易组织和经济全球化迅速发展的新形势,也要求高等职业教育必须开创新局面。

高职高专教材建设是高等职业教育的重要组成部分,是一项极具重要意义的基础性工作,对高等职业教育培养目标的实现起着举足轻重的作用。为贯彻落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》精神,进一步推动高等职业教育的发展,加强高职高专教材建设,根据教育部关于通过多层次的教材建设,逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系的精神,中国电力教育协会会同中国高等职业技术教育研究会和中国电力出版社,组织有关专家对高职高专“十五”教材规划工作进行研究,在广泛征求各方面意见的基础上,制订了体现高等职业教育特色的高职高专“十五”教材规划。

高职高专“十五”规划教材紧紧围绕培养高等技术应用性专门人才开展编写工作。基础课程教材注重体现以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为教学重点;专业课程教材着重加强针对性和实用性。同时,“十五”规划教材不仅注重内容和体系的改革,还注重方法和手段的改革,以满足科技发展和生产实际的需求。此外,高职高专“十五”规划教材还着力推动高等职业教育人才培养模式改革,促进高等职业教育协调发展。相信通过我们的不断努力,一批内容新、体系新、方法新、手段新,在内容质量上和出版质量上有突破的高水平高职高专教材,很快就能陆续推出,力争尽快形成一纲多本、优化配套,适用于不同地区、不同学校、特色鲜明的高职高专教育教材体系。

在高职高专“十五”教材规划的组织实施过程中,得到了教育部、国家电力公司、中国电力企业联合会、中国高等职业技术教育研究会、中国电力出版社、有关院校和广大教师的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务,不可能一蹴而就,需要不断完善。因此,在教材的使用过程中,请大家随时提出宝贵的意见和建议,以便今后修订或增补。(联系方式:100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416222)

中国电力教育协会

二〇〇二年十二月

2002/12/1



523544
523545
523546
523547
523548
523549
523550
523551
523552
523553
523554
523555
523556
523557
523558
523559
523560
523561
523562
523563
523564
523565
523566
523567
523568
523569
523570
523571
523572
523573
523574
523575
523576
523577
523578
523579
523580
523581
523582
523583
523584
523585
523586
523587
523588
523589
523590
523591
523592
523593
523594
523595
523596
523597
523598
523599
523600
523601
523602
523603
523604
523605
523606
523607
523608
523609
523610
523611
523612
523613
523614
523615
523616
523617
523618
523619
523620
523621
523622
523623
523624
523625
523626
523627
523628
523629
523630
523631
523632
523633
523634
523635
523636
523637
523638
523639
523640
523641
523642
523643
523644
523645
523646
523647
523648
523649
523650
523651
523652
523653
523654
523655
523656
523657
523658
523659
523660
523661
523662
523663
523664
523665
523666
523667
523668
523669
523670
523671
523672
523673
523674
523675
523676
523677
523678
523679
523680
523681
523682
523683
523684
523685
523686
523687
523688
523689
523690
523691
523692
523693
523694
523695
523696
523697
523698
523699
523700
523701
523702
523703
523704
523705
523706
523707
523708
523709
523710
523711
523712
523713
523714
523715
523716
523717
523718
523719
523720
523721
523722
523723
523724
523725
523726
523727
523728
523729
523730
523731
523732
523733
523734
523735
523736
523737
523738
523739
523740
523741
523742
523743
523744
523745
523746
523747
523748
523749
523750
523751
523752
523753
523754
523755
523756
523757
523758
523759
523760
523761
523762
523763
523764
523765
523766
523767
523768
523769
523770
523771
523772
523773
523774
523775
523776
523777
523778
523779
523780
523781
523782
523783
523784
523785
523786
523787
523788
523789
523790
523791
523792
523793
523794
523795
523796
523797
523798
523799
523800
523801
523802
523803
523804
523805
523806
523807
523808
523809
523810
523811
523812
523813
523814
523815
523816
523817
523818
523819
523820
523821
523822
523823
523824
523825
523826
523827
523828
523829
523830
523831
523832
523833
523834
523835
523836
523837
523838
523839
523840
523841
523842
523843
523844
523845
523846
523847
523848
523849
523850
523851
523852
523853
523854
523855
523856
523857
523858
523859
523860
523861
523862
523863
523864
523865
523866
523867
523868
523869
523870
523871
523872
523873
523874
523875
523876
523877
523878
523879
523880
523881
523882
523883
523884
523885
523886
523887
523888
523889
523890
523891
523892
523893
523894
523895
523896
523897
523898
523899
523900
523901
523902
523903
523904
523905
523906
523907
523908
523909
523910
523911
523912
523913
523914
523915
523916
523917
523918
523919
523920
523921
523922
523923
523924
523925
523926
523927
523928
523929
523930
523931
523932
523933
523934
523935
523936
523937
523938
523939
523940
523941
523942
523943
523944
523945
523946
523947
523948
523949
523950
523951
523952
523953
523954
523955
523956
523957
523958
523959
523960
523961
523962
523963
523964
523965
523966
523967
523968
523969
523970
523971
523972
523973
523974
523975
523976
523977
523978
523979
523980
523981
523982
523983
523984
523985
523986
523987
523988
523989
523990
523991
523992
523993
523994
523995
523996
523997
523998
523999
524000

本书为高职高专“十五”规划教材,是为培养适应生产第一线需要的高等职业技术应用性人才而编写的。在编写中力图体现基础理论以必需、够用、能用为原则,以应用为主线,以培养技能为重点来构筑课程体系,全书力求实例突出,图文并茂。

本书编写的主要依据有 GB 50007—2002《建筑地基基础设计规范》、GB 50202—2002《建筑地基基础工程施工质量验收规范》、GB 50010—2002《混凝土结构设计规范》、GB/T 50123—1999《土工试验标准》、GB 50021—2001《岩土工程勘察规范》、JGJ 79—2002《建筑地基处理技术规范》、GB 50330—2002《建筑边坡工程技术规范》等新版规范。

本书包括土力学基础理论与基础工程应用两部分,主要内容有土的物理性质及工程分类、土中应力与地基变形、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、基槽检验与局部处理、基坑开挖与支护、天然地基上的浅基础、桩基础。另外对软弱土地基处理与湿陷性黄土、膨胀土地基、山区地基及地震区地基等区域性地基也做了必要的介绍,授课时可结合本地区特点,因地制宜地取舍。本教材增加了实训内容,也可将部分内容放到实训中讲解。土工试验指导书摒弃了详细列出试验步骤,学生根据步骤做试验的传统做法,引导学生自学和思考,培养学生的实践动手能力。本教材建议总学时为 64~70 学时。

参加本书编写的有宁波高等专科学校徐梓炘(第一章、第三章、第七章、第八章土工试验指导书、实训指导书)、长春工程学院张曙光(第二章、第五章、第九章第二、三、四节)、山西建筑职业技术学院杨太生(第四章、第六章、第九章第一节),全书由徐梓炘统稿,太原大学陈东佐审稿。陈老师审稿认真仔细,提出了许多中肯的修改意见,在此表示衷心感谢。

限于编者水平,不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2003 年 8 月

目 录

序 前言

第一章 绪论	1
第一节 土力学、地基与基础的概念	1
第二节 本课程在建筑工程中的地位	2
第三节 本课程特点及学习要求	3
思考题	4
第二章 土的物理性质及工程分类	5
第一节 土的成因与组成	5
第二节 土的结构与土层构造	9
第三节 土的物理性质指标	11
第四节 土的物理状态指标	15
第五节 地基土的工程分类	19
思考题	20
习题	21
第三章 土中应力与地基变形	22
第一节 土体中的自重应力	22
第二节 基底压力	24
第三节 地基中的附加应力	26
第四节 土的压缩性	33
第五节 地基最终沉降量计算	35
第六节 地基变形与时间的关系	43
第七节 地基变形特征及变形允许值	47
思考题	49
习题	49
第四章 土的抗剪强度与地基承载力	52
第一节 土的抗剪强度与极限平衡条件	52

第二节	抗剪强度指标的测定方法	56
第三节	地基承载力	60
思考题		64
习题		64
第五章	土压力与土坡稳定	65
第一节	土压力种类与影响因素	65
第二节	静止土压力计算	66
第三节	库仑土压力理论	67
第四节	挡土墙的设计	72
第五节	土坡稳定分析	79
第六节	基坑开挖与支护	84
思考题		91
习题		92
第六章	天然地基上的浅基础	93
第一节	概述	93
第二节	地基基础设计的基本规定	96
第三节	基础埋置深度	99
第四节	基础底面尺寸的确定	103
第五节	基础结构设计	106
第六节	筏形基础简介	117
第七节	基槽检验与地基局部处理	119
第八节	减少不均匀沉降的措施	121
思考题		124
习题		124
第七章	桩基础及其它深基础	126
第一节	桩基础概述	126
第二节	桩基础的施工工艺简介	129
第三节	桩的竖向承载力	132
第四节	桩的水平承载力	136
第五节	桩基础设计	137
第六节	桩基础设计实例	144
第七节	其它深基础简介	151
思考题		153
习题		153

第八章 地基处理	155
第一节 概述	155
第二节 碾压夯实法	157
第三节 换填垫层法	160
第四节 预压固结法	163
第五节 挤密法	165
第六节 水泥土搅拌法	166
思考题	167
习题	167
第九章 区域性地基	168
第一节 湿陷性黄土地基	168
第二节 膨胀土地基	171
第三节 山区地基	177
第四节 地震区的地基基础	179
思考题	183
土工试验指导书	184
试验一 土的密度和含水率试验	184
试验二 土的塑限液限试验	185
试验三 固结试验	186
试验四 直接剪切试验	187
试验五 击实试验	187
实训指导书	188
实训一 工程地质勘察报告阅读及地基土野外鉴别	188
实训二 验槽	190
实训三 桩基础	191
实训四 地基处理	191
参考文献	193

第一章



1533000
0592-496
2547828
0592-496
952724543
354125631
0492121695

绪 论

第一节 土力学、地基与基础的概念

建筑物建造在地层上,将会引起地层中的应力状态发生改变。我们把因承受建筑物荷载而应力状态发生改变的土层或岩层称为地基,把建筑物荷载传递给地基的那部分结构称为基础。因此,地基与基础是两个不同的概念,地基属于地层,是支承建筑物的那一部分地层;基础则属于结构物,是建筑物的一部分。由于建筑物的建造使地基中原有的应力状态发生变化,因此土层发生变形。为了控制建筑物的沉降和保持其稳定性,就必须运用力学方法来研究荷载作用下地基土的变形和强度问题。研究土的特性及土体在各种荷载作用下的性状的一门力学分支称为土力学。土力学主要内容包括土中水的作用、土的渗透性、压缩性、固结、抗剪强度、土压力、地基承载力、土坡稳定等土体的力学问题。

地基中我们把直接与基础接触的土层称为持力层;持力层下受建筑物荷载影响范围内的土层称为下卧层,其相互关系如图 1-1 所示。

基础的结构形式很多,按埋置深度和施工方法的不同,可分为浅基础和深基础两大类。通常把埋置深度不大(一般不超过 5m),只需经过挖槽、排水等普通施工程序,采用一般施工方法和施工机械就可施工的基础称为浅基础,如条形基础、独立基础、筏形基础等。而把基础埋置深度超过一定值,需借助特殊施工方法施工的基础称为深基础,如桩基础、地下连续墙、沉井基础等。如果土质不良,需要经过人工加固处理才能达到使用要求的地基称为人工地基;不加处理就可以满足使用要求的地基称为天然地基。

基础是建筑物的一个组成部分,基础的强度直接关系到建筑物的安全与使用。而地基的强度、变形和稳定更直接影响到基础及建筑物的安全性、耐久性和正常使用。建筑物的上部结构、基础、地基三部分构成了一个既相互制约又共同工作的整体。目前,要把三部分完全统一起来进行设计计算还有一定困难。现阶段采用的常规设计方法是

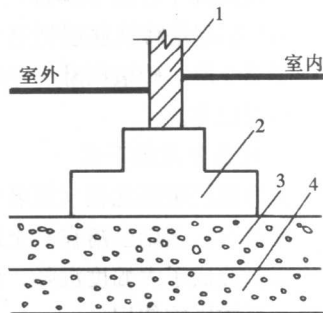


图 1-1 地基基础示意图

- 1—上部结构; 2—基础;
- 3—持力层; 4—下卧层

基础、地基三部分分开,按照静力平衡原则,采用不同的假定进行分析计算,同时考虑建筑物的上部结构、基础、地基相互共同作用。

满足同一建筑物设计要求的地基基础方案往往不止一个,应通过技术经济比较、选取安全可靠、经济合理、技术先进、施工简便又能保护环境的方案。

第二节 本课程在建筑工程中的地位

地基和基础是建筑物的根本,又位于地面以下,属地下隐蔽工程。它的勘察、设计及施工质量的好坏,直接影响建筑物的安全,一旦发生质量事故,补救和处理都很困难,甚至不可挽救。此外,花费在地基和基础上的工程造价与工期在建筑物总造价和总工期中所占的比例,视其复杂程度和设计、施工的合理与否,可以在百分之几到百分之几十之间变动,造价高的约占总造价的 $1/3$,相应工期约占总工期的 $1/4$ 。在中外建筑史上,有举不胜举的地基基础事故的例子,典型的例子如下:

1. 建筑物倾斜

苏州虎丘塔为全国重点文物保护单位,该塔建于公元 961 年,7 层,高 47.5m,塔平面呈现八角形,由外壁、回廊和塔心三部分组成,主体结构为砖木结构,采用黄泥砌砖,浅埋式独立砖墩基础,坐落在人工夯实的土夹石覆盖层上,覆盖层南薄北厚,变化范围为 0.9 ~ 3.6m,基岩弱风化。土夹石覆盖层压实后引起不均匀沉降,因不均匀沉降造成塔身倾斜,据实测塔顶偏离中心线 2.34m。由于过大的沉降差(根据塔顶偏离计算的不均匀沉降量应为 66.9cm)引起塔楼从底层到第 2 层产生了宽达 17cm 的竖向劈裂;北侧壶门拱顶两侧裂缝发展到了第 3 层。砖墩压酥、碎裂、崩落,堪称危如累卵。经过精心治理,将危塔加固,才使古塔得以保存。

2. 建筑物地基下沉

上海锦江饭店北楼(原名华懋公寓),建于 1929 年,共 14 层、高 57m,是当时上海最高的一幢建筑。基础坐落在软土地基上,采用桩基础,由于工程承包商偷工减料,未按设计桩数施工,造成了大幅度沉降,建筑物的绝对沉降达 2.6m,致使原底层陷入地下,成了半地下室,严重影响使用。

3. 建筑物地基滑动

加拿大特朗斯康谷仓,平面呈矩形,南北向长 59.44m,东西向宽 23.47m,高 31.00m,容积 36368m³。谷仓为圆筒仓,每排 13 个,5 排共计 65 个。谷仓基础为钢筋混凝土筏形基础,厚度 61cm,埋深 3.66m。谷仓于 1941 年动工,1943 年秋完工。谷仓自重 20000t,相当于装满谷物后满载总重量的 42.5%。1943 年 9 月装谷物,10 月 17 日当谷仓已装了 32822m³ 谷物时,发现 1h 内竖向沉降达 30.5cm。结构物向西倾斜,并在 24h 内谷仓倾倒,仓身倾斜 26°53',谷仓西端下沉 7.32m,东端上抬 1.52m,上部钢筋混凝土筒仓坚如磐石。

事先未对谷仓地基进行调查研究,而是据邻近结构物基槽开挖试验结果,计算地基承载力为 352kPa,应用到此谷仓。1952 年经勘察试验与计算,谷仓地基实际承载力为 193.8 ~ 276.6kPa,远小于谷仓破坏时发生的压力 329.4kPa,因此,谷仓地基因超载发生强度破坏而

滑动。

4. 建筑物墙体开裂

天津市人民会堂办公楼东西向长约 27.0m, 南北向宽约 5.0m, 高约 5.6m, 为两层楼房。工程建成后使用正常。1984 年 7 月在办公楼西侧新建天津市科学会堂学术楼。此学术楼东西向长约 34.0m, 南北宽约 18.0m, 高约 22.0m。两楼外墙净距仅 30cm。当年年底, 人民会堂办公楼西侧北墙发现裂缝, 此后, 裂缝不断加长、展宽。最大的一条裂缝位于办公楼西北角, 上下墙体 1986 年 7 月已断开错位 150mm, 在地面以上高 2.3m 处, 开裂宽度超过 100mm。这条裂缝朝东向下斜向延伸至地面, 长度超过 6m。这是相邻荷载影响导致事故的典型例子, 新建学术楼的附加应力扩散至人民会堂办公楼西侧软弱地基, 引起严重沉降, 造成墙体开裂。

5. 建筑物地基溶蚀

徐州市区东部新生街居民密集区, 于 1992 年 4 月 12 日发生一次大塌陷。最大的塌陷长 25m、宽 19m, 最小的塌陷直径 3m, 共 7 处塌陷, 深度普遍为 4m 左右。整个塌陷范围长达 210m, 宽达 140m。位于塌陷内的房屋 78 间全部陷落倒塌。塌陷周围的房屋墙体开裂达数百间。塌陷区地基为黄河泛滥沉积的粉砂与粉土, 厚达 22m。其底部为古生代奥陶系灰岩, 中间缺失老粘土隔水层, 灰岩中存在大量深洞与裂隙。徐州市过量开采地下水, 水位下降对灰岩的覆盖层粉土与粉砂形成潜蚀与空洞, 并不断扩大。在下大雨后雨水渗入地下, 导致大型空洞上方土体失去支承而塌陷。

6. 土坡滑动

香港宝城大厦建在香港山坡上, 1972 年 5~6 月出现连续大暴雨, 特别是 6 月份雨量竟高达 1658.6mm, 引起山坡因残积土软化而滑动。7 月 18 日早晨 7 点钟, 山坡下滑, 冲毁高层建筑宝城大厦, 居住在该大厦的 120 位银行界人士当场死亡, 这一事故引起全世界的震惊, 从而对岩土工程倍加重视。

从以上工程实例可见, 基础工程属百年大计, 必须慎重对待。只有详细掌握勘察资料, 深入了解地基情况, 精心设计、精心施工, 抓好每一个环节, 才能使基础工程做到既经济合理又保证质量。

第三节 本课程特点及学习要求

本课程共有九章, 第一章“绪论”和第二章“土的物理性质及工程分类”是学习本课程的基础知识, 第三章和第四章为土力学的基本原理部分, 也是本课程的重要内容, 要求了解土中应力分布及地基沉降的计算方法, 学会用规范的方法计算地基沉降, 掌握土的抗剪强度定律及抗剪强度指标的测试方法, 了解土的极限平衡原理和条件, 并学会根据规范要求确定地基承载力的特征值。第五章介绍土压力及土坡稳定, 要求了解土压力的概念及产生条件, 学会一般情况下的土压力计算及重力式挡土墙的计算, 懂得土坡稳定分析的基本概念及基坑开挖与支护的基础知识。第六~九章为地基基础部分, 包括浅基础、桩基础、地基处理和区域性地基有关知识, 要求能够运用土力学理论解决实际工程中经常遇到的一般性的地基基础

问题。

通过学习本门课程，要达到以下基本要求：

- (1) 掌握土的基本物理力学性质，了解常规的室内与现场土工试验方法；
- (2) 掌握天然地基上一般浅基础的简单设计方法或验算方法；
- (3) 掌握常用桩基础的简单设计方法或验算方法；
- (4) 能正确使用《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)及相关规范，解决地基基础设计中遇到的一般问题。

本课程是一门实践性与理论性均较强的课程。由于各种地基土形成的自然条件不同，性质也是千差万别；我国地域辽阔，不同地区的土有不同的特性，即使同一地区的土，其特性也可能存在较大的差异。因此，在学习本课程时，要运用基本的理论知识加强实践锻炼，注重实训，紧紧抓住强度和变形这一核心问题来分析和处理实际工程中的地基基础问题，提高分析和解决问题的能力。

思考题

1. 土力学的研究对象和研究内容是什么？什么是地基？什么是基础？
2. 何谓天然地基？何谓人工地基？
3. 深基础与浅基础有何区别？
4. 什么是持力层？什么是下卧层？

第二章



16442114
05222324
2547802
0533272
942224547
384125837
543212142

土的物理性质及工程分类

土是岩石风化的产物。土的物理性质及工程分类是进行土力学计算、地基基础设计和地基处理的必备知识。本章主要介绍土的成因、土的组成、土的三相比例指标、无粘性土的密实度、粘性土的物理状态以及土的工程分类。

第一节 土的成因与组成

一、土的成因

土是由地壳岩石经风化、剥蚀、搬运、沉积，形成由固体矿物、液态水和气体组成的一种集合体。不同的风化作用形成不同性质的土，风化作用有以下三种：

1. 物理风化

岩石受风霜雨雪的侵蚀，温度、湿度的变化，产生不均匀膨胀与收缩，使岩石出现裂隙，崩解为碎块。这种风化作用只改变颗粒的大小与形状，而不改变原来的矿物成分，称为物理风化。

由物理风化生成的土为粗颗粒土，如块石、碎石、砾石、砂土等，这种土呈松散状态，总称为无粘性土。

2. 化学风化

当岩石的碎屑与水、氧气和二氧化碳等物质相接触，将发生化学变化，并改变了原来组成矿物的成分，产生一种次生矿物。这类风化称为化学风化。经化学风化生成的土为细粒土，具有粘结力，如粘土与粉质粘土，总称为粘性土。

3. 生物风化

由动物、植物和人类活动所引起岩体的破坏称为生物风化。如长在岩石缝隙中的树，因树根生长使岩石缝隙扩展开裂。人类开采矿山、打隧道、劈山修路等活动形成的土，其矿物成分没有变化。

二、土的三相组成

土的三相组成是指土由固体颗粒、液态水和气体三部分组成。土中的固体颗粒构成土的骨架，骨架之间存在大量孔隙，孔隙中充满着液态水和空气。

同一地点土体的三相比例组成随环境变化。例如，天气的晴雨、季节变化、温度高低、地下水的升降及建筑物的荷载作用等，都会引起土的三相之间的比例产生变化。

土的三相比例不同,土的状态和工程性质也各异。当土中孔隙全部由气体填充时为干土,此时粘土呈坚硬状态,砂土呈松散状态;当土中孔隙由液态水和气体填充时为湿土,此时粘土多为可塑状态;当土中孔隙全部由液态水填充时为饱和土,此时粉细砂或粉土遇强烈地震可能发生液化。

(一) 土的固体颗粒

土的固体颗粒(土颗粒或土粒)是土的三相组成中的主体,是决定土的工程性质的主要成分。

1. 土颗粒的矿物成分

(1) 原生矿物。岩石经物理风化而成,其成分与母岩相同,包括单矿物颗粒和多矿物颗粒。单矿物颗粒是指颗粒为单一的矿物,如石英、长石、云母、角闪石、辉石等;多矿物颗粒是指颗粒中包含多种矿物,如巨粒土的漂石、卵石和粗粒土的砾石。

(2) 次生矿物。母岩的岩屑经过化学风化,改变原来的成分,成为一种颗粒很细的新矿物,主要是粘土矿物。粘土矿物的粒径小于 0.005mm ,肉眼看不清,用电子显微镜观察为鳞片状。

(3) 腐植质。如果土中腐植质含量多,土的压缩性就会增大。有机质含量超过 $3\% \sim 5\%$ 的土应予注明,不宜作为填筑材料。

2. 土颗粒的大小与形状

自然界中土颗粒的大小相差悬殊,为便于研究,把土的粒径按性质相近的原则划分为六个粒组,即漂石(块石)颗粒、卵石(碎石)颗粒、圆砾(角砾)颗粒、砂粒、粉粒及粘粒。表2-1给出了土粒粒组的划分情况。

表 2-1 土颗粒粒组的划分

土颗粒名称	漂石(块石)颗粒	卵石(碎石)颗粒	圆砾(角砾)颗粒	砂粒	粉粒	粘粒
粒径范围(mm)	>200	200~60	60~2	2~0.075	0.075~0.005	<0.005

颗粒大小不同的土,它们的工程性质也各不相同。同一粒组土的工程性质相似,通常粗粒土的压缩性低、强度高、渗透性大。至于颗粒的形状,带棱角表面粗糙的不易滑动,其强度比表面圆滑的高。

3. 土颗粒的级配

自然界的天然土,很少是一个粒组的土,往往是多个粒组混合而成,土的颗粒有粗有细。工程中常用各粒组的相对含量占总质量的百分数来表示,称为土的颗粒级配。这是决定无粘性土工程性质的主要因素,以此作为土的分类定名的标准。

工程中用粒径分析法,通过两种试验方法,互相配合使用。

(1) 筛分法。适用于土颗粒直径大于 0.075mm 的土。筛分法的主要设备为一套标准分析筛,筛子孔径分别为60、40、20、10、5、2.0、1.0、0.5、0.25、 0.075mm 。取样数量:

粒径 $d \approx 20\text{mm}$, 可取 2000g

$d < 10\text{mm}$, 可取 500g

$d < 2\text{mm}$, 可取 200g

将干土样倒入标准筛中, 盖严上盖, 置于筛析机上震筛 10~15min。由上而下顺序称出各级筛上及盘内试样的质量。少量试验可用人工筛。

(2) 密度计法。适用于土颗粒直径小于 0.075mm 的土。密度计法的主要仪器为土壤密度计和容积为 1000mL 量筒。根据土粒直径大小不同, 在水中沉降的速度也不同的特性, 将密度计放入悬液中, 测出 0.5、1、2、5、15、30、60、240 和 1440min 的密度计读数, 计算而得。

根据颗粒分析试验结果, 绘制土的粒径级配曲线, 如图 2-1 所示, 纵坐标表示小于某粒径的土占总质量的百分数; 横坐标表示土的粒径, 用对数尺度。

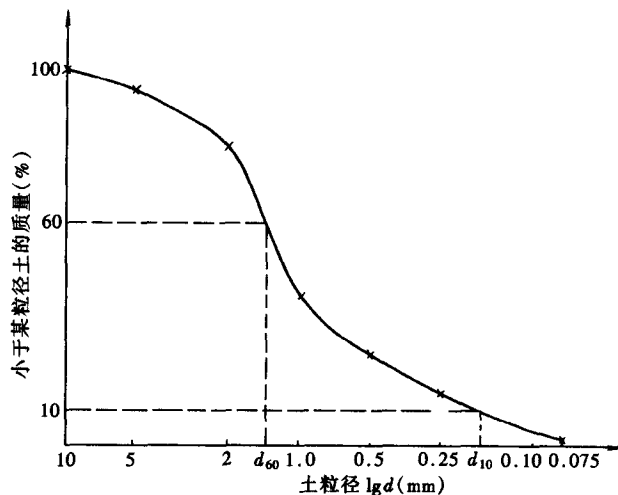


图 2-1 土的粒径级配曲线

例如, 某工程土样总质量为 1000g , 经筛析后, 知道全部试样通过筛孔为 10mm 的筛, 因此在横坐标为 10mm 处, 其纵坐标为 100, 为一个试验点。在筛孔为 5mm 的筛子上的颗粒质量为 50g , 因而 $d < 5\text{mm}$ 的颗粒质量为 950g 占总质量的 95%, 由横坐标为 5mm 与纵坐标 95% 之交点为第 2 个试验点。在筛孔为 2mm 的筛子上的颗粒质量为 150g , 则 $d < 2\text{mm}$ 的颗粒质量为 $1000\text{g} - 50\text{g} - 150\text{g} = 800\text{g}$ 占总质量的 80%, 因此由横坐标为 2mm 与纵坐标 80% 之交点为第 3 个试验点。依次类推, 即得土的粒径级配曲线。

在粒径级配曲线上, 纵坐标为 10% 所对应的粒径 d_{10} 称为有效粒径; 纵坐标为 60% 所对应的粒径 d_{60} 称为限定粒径; d_{60} 与 d_{10} 的比值称为不均匀系数 C_u , 即

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2-1)$$

不均匀系数 C_u 是表示土颗粒组成的重要特征。当 C_u 很小时曲线很陡, 表示土颗粒均匀; 当 C_u 很大时曲线平缓, 表示土的级配良好。

曲率系数 C_c 为表示土颗粒组成的又一特征, 按下式计算

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10}d_{60}} \quad (2-2)$$

式中 d_{30} ——粒径级配曲线上纵坐标为 30% 所对应的粒径。

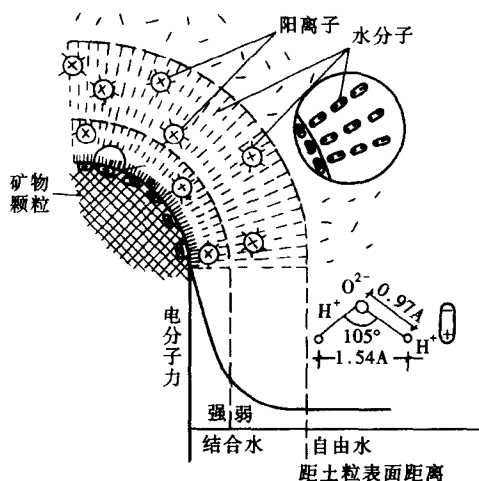


图 2-2 粘土矿物与水分子的相互作用

砾石和砂土级配满足 $C_u \geq 5$ 且 $C_c = 1 \sim 3$ 为级配良好, 否则为级配不良。

(二) 土中水

土的孔隙中有水, 水的不同存在形式对土的性质影响很大, 如图 2-2 所示。

1. 结合水

(1) 强结合水 (吸着水)。由粘土表面的电分子力牢固地吸引的水分子紧靠土粒表面, 其厚度只有几个水分子厚, 且小于 $0.003\mu\text{m}$ 。这种强结合水的性质与普通水不同, 其性质接近固体, 不传递静水压力, 105°C 以上才蒸发, 密度 $\rho_w = 1.2 \sim 2.4\text{g}/\text{cm}^3$, 并具有很大的粘滞性、弹性和抗剪强度。粘土中只含强结合水时呈固体状态。

(2) 弱结合水 (薄膜水)。这种水在强结合水外侧, 也是由粘土表面的电分子力吸引的水分子, 其厚度小于 $0.5\mu\text{m}$ 。密度 $\rho_w = 1.0 \sim 1.7\text{g}/\text{cm}^3$, 弱结合水也不传递静水压力, 呈粘滞状态, 此部分水对粘性土的性质影响最大。

2. 自由水

此种水离土粒较远, 在土粒表面的电场作用以外, 自由水包括重力水和毛细水两种。

(1) 重力水。这种水位于地下水位以下, 受重力作用由高处向低处流动, 有浮力作用。

(2) 毛细水。这种水位于地下水位以上, 受毛细作用而上升, 粉土中毛细现象严重, 毛细水上升高, 在寒冷地区要注意冻胀。地下室受毛细水的影响要采取防潮措施。

3. 气态水

气态水即水气, 对土的性质影响不大。

4. 固态水

当气温降至 0°C 以下时, 液态的自由水结冰为固态水, 并且发生膨胀, 使地基发生冻胀, 寒冷地区基础的埋深应考虑冻胀问题。

(三) 土中气

在土的固体矿物之间的孔隙中, 没有被水充填的部分都充满气体。土中的气体分为自由气体和封闭气体两种。

(1) 自由气体。自由气体是与大气相连通的气体, 通常在土层受力压缩时逸出, 对建筑工程无影响。

(2) 封闭气泡。封闭气泡与大气隔绝, 存在于粘性土中, 当土层受力时, 封闭气泡缩小; 如果土中封闭气泡很多时, 将使土的压缩性增高, 土的渗透性降低。

三、土的特性

土与其它连续介质的建筑材料相比,具有下列三个显著的工程特性:

1. 压缩性高

反映材料压缩性高低的弹性模量 E (对于土称为变形模量),随着材料性质不同而有极大的差别,例如

钢筋 $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$

C20 混凝土 $E = 2.55 \times 10^4 \text{ MPa}$

卵石 $E = 40 \sim 50 \text{ MPa}$

饱和细砂 $E = 8 \sim 16 \text{ MPa}$

由此可见,当应力数值相同,材料厚度一样时,卵石的压缩性约是钢筋压缩性的 4200 倍;饱和细砂的压缩性约比 C20 混凝土的压缩性高 1600 倍。软塑或流塑状态的粘性土往往比饱和细砂的压缩性还要高。

2. 强度低

土的强度特指抗剪强度。无粘性土的强度来源于土粒表面粗糙不平产生的摩擦力;粘性土的强度除摩擦力外,还有粘聚力。无论摩擦力还是粘聚力,都远远小于建筑材料本身的强度,因此,土的强度比其它建筑材料(如钢材、混凝土)的强度都低得多。

3. 透水性大

土体中固体颗粒之间具有无数孔隙,这些孔隙是透水的。尤其是粗颗粒的卵石或砂土,其透水性极大。

土压缩性高、强度低、透水性大的工程特性与建筑工程设计和施工关系密切,需要高度重视。

第二节 土的结构与土层构造

一、土的结构

土的结构是指由土粒单元的大小、形状、相互排列及其连接关系等因素形成的综合特征。一般分为单粒结构、蜂窝结构和絮状结构三种基本类型。

1. 单粒结构

单粒结构是由粗大土粒在水或空气中下沉而形成的。全部由砂粒及更粗土粒组成的土都具有单粒结构。因其颗粒较大,土粒间的分子吸引力相对很小,所以颗粒间几乎没有连接,至于未充满孔隙的水分只可能使其具有微弱的毛细水连接。单粒结构可以是疏松的,也可以是紧密的,如图 2-3 所示。

呈紧密状单粒结构的土,由于其土粒排列紧密,在动静荷载作用下都不会产生较大的沉降,所以强度较大,压缩性较小,是良好的天然地基。

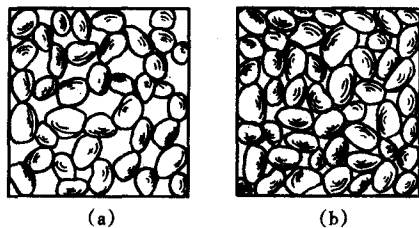


图 2-3 土的单粒结构

(a) 疏松的; (b) 紧密的