

成都工学院图书馆
基本馆藏

284352

高等学校交流讲义

土力学地基与基础

(给排水专业适用)

西安冶金学院建筑工程系地基基础教研组编



中国工业出版社

323
87

高等学校交流讲义



土力学地基与基础

(给排水专业适用)

西安冶金学院建筑工程系地基基础教研组编

中国工业出版社

本书原为西安冶金学院的教材，經建筑工程部委托天津大学主持的“工程地质和地基基础教材选編小組”討論研究，确定为給排水专业“土力学地基和基础課程”的交流讲义。

书中重点叙述了土的性质、土中应力及变形、土压力及边坡稳定性等土力学基本原理，着重闡明了天然地基上基础的設計和施工，对于地基的人工加固、桩基、机械基础和区域性特殊地基等也作了扼要的論述；全书内容和取材上注意了結合专业的要求。

参加本书选編工作的有天津大学、哈尔滨建筑工程学院、重庆建筑工程学院和西安冶金学院等院校的代表。

土力学地基与基础

(給排水专业适用)

西安冶金学院建筑工程系地基基础教研組編

*

中国工业出版社出版(北京修麟閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印張 $8 \frac{1}{4}$ ·字数183,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印数0001—1,733·定价(10-6)1.00元

統一书号: 15165·1025(建工-120)

前 言

自1958年大跃进以来，我国各族人民在党中央和毛主席的英明领导下，高举总路线、大跃进、人民公社三面红旗，在各个战线上都取得了伟大的胜利。在这大好形势面前，特别是教育革命的深入开展，我院党委提出了大编教材、大力提高教学质量、巩固教育革命成果的号召。这一切使我们日益感到必须坚决贯彻党的教育为无产阶级政治服务，教育与生产劳动相结合的方针，从而为国家培养出又红又专的建设人材。为此，我们从1958年开始就着手进行了教材的编写工作。在这当中，对于非工民建专业来说，我们常感到由于没有专用的地基和基础教材，只好借用工民建专业的教材，因此在份量上既不适宜，内容上也不能结合专业要求，这在一定程度上影响了教学质量的进一步提高。

本书初稿写成后，作为讲义几经试用、讨论和修改，力求能更好的结合给排水专业的要求，贯彻辩证唯物主义观点和理论联系实际的原则。我们在取材方面，除注意了结合我国实际和反映新的技术成就外，尽可能地考虑到了专业的特点和工作性质。譬如，本书中增添了土压力和沟管压力的内容；在土的性质和基础工程施工等方面，也与给排水工程作了适当的联系。在材料处理上，既有重点深入的讲述，也有简明扼要的介绍，俾使学生在学完本课程后，既掌握了地基基础工程的基本知识，也能独立地解决一般问题。

限于编者的政治和业务水平，很难使本书完美无缺。特别是在结合专业要求方面，只能说是有了一个开端。所以，我们热诚的期望使用本书的教师和同学以及从事实际工作的同志们提出宝贵意见，共同为给排水专业编写出一本适用的土力学地基和基础教材而努力。

在本书的编写过程中，学院党委、系总支和领导同志给了我们很大的鼓励 and 具体指导；同时也听取了使用本书的师生及兄弟学校的意见和建议。就此一并致谢。

西安冶金学院建筑工程系地基基础教研组

1961年3月

APR 8 0/01

目 录

緒 論	1
§ 0—1 本課程的任务和特点	1
§ 0—2 本課程的發展簡史	2
§ 0—3 建国以来我国在地基基础方面的偉大成就和本門科學的發展方向	3
第一章 土的物理性質	5
§ 1—1 土的組成	5
§ 1—2 土的基本物理特征	7
§ 1—3 粘性土的稠度	10
§ 1—4 砂类土的密实度	11
§ 1—5 土的粒徑級配	11
§ 1—6 土的毛細作用	12
§ 1—7 土的透水性	13
§ 1—8 动水压力及流砂現象	15
§ 1—9 地基土的分类	17
第二章 地基的应力和变形	19
§ 2—1 基础底面上承压力的分布	19
§ 2—2 地基內豎向压力分布的計算	21
§ 2—3 土的压缩性	31
§ 2—4 地基的沉陷計算	37
第三章 土体的稳定性	45
§ 3—1 土的抗剪强度	45
§ 3—2 土体的極限平衡理論	47
§ 3—3 朗肯土压理論	52
§ 3—4 庫倫土压理論	55
§ 3—5 地下管道上的土压力	59
§ 3—6 土坡的稳定	61
§ 3—7 临塑荷載与極限荷載	66
第四章 天然地基上的淺基础	69
§ 4—1 概說	69
§ 4—2 基础的类型	69
§ 4—3 基础的埋置深度	73
§ 4—4 基础的設計原則和設計步驟	74
§ 4—5 地基按变形計算	76
§ 4—6 地基按稳定性計算	82

§ 4—7 地下水对于地基及基础的影响.....	83
§ 4—8 天然地基的施工.....	84
§ 4—9 积水地区天然地基的施工.....	86
§ 4—10 基坑支撑计算.....	88
§ 4—11 板桩计算.....	89
第五章 人工地基及桩基	92
§ 5—1 人工地基的主要方法.....	92
§ 5—2 樁基.....	95
第六章 深基	103
§ 6—1 沉井.....	103
§ 6—2 气压沉箱.....	109
§ 6—3 管柱.....	110
第七章 特殊地基	111
§ 7—1 软土地基.....	111
§ 7—2 黃土地基.....	113
§ 7—3 填土及填土地基.....	117
第八章 动力机械基础	119
§ 8—1 概說.....	119
§ 8—2 振动对地基的影响.....	120
§ 8—3 地基的弹性系数.....	122
§ 8—4 机器基础的設計方法.....	123
§ 8—5 振动影响及减小振动影响的方法.....	126

緒 論

§ 0—1 本課程的任务和特点

建筑物的荷载是通过它的下部结构传到下面的地層上的。所以，承受建筑物全部重量及荷载的地層叫做地基；建筑物与地基之间的下部结构叫做基础。基础通常位于地面或水面以下。圖 0—1 是建筑物的基础及地基示意图。

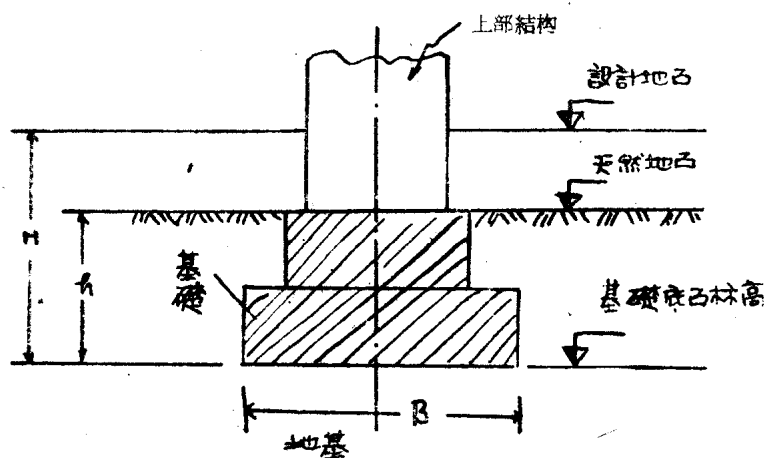


圖 0—1 地基与基础

地基可分为天然地基及人工地基两种。当建筑物的基础直接埋置于开挖后的天然地層表面上而不需进行人工处理的称为天然地基。天然地基上的基础由于埋置深度的不同，又可分为浅基础及深基础两类。如以 h 表示基础的埋置深度， B 为基础宽度，则按一般习惯，常把 h 值小于 5 米的称为浅基，反之， h 大于 5 米时，

即为深基。当建筑物荷载较大，要求天然地基具有较大的坚固性及稳定性时，才采用深埋天然地基，但施工方法较为复杂，费用亦较昂贵。所以在一般情况下，当天然地基强度不足或变形过大时，也常采用人工处理地基及桩基，以期获得经济合理的地基设计方案。

本课程的任务是使建筑工作者，在熟悉岩土的物理化学及力学性质的基础上，正确地掌握建筑物地基及基础的设计原理和施工方法，以达到地基和基础设计与施工的安全性和最大的经济性。

地層性质具有复杂多变的特点，从坚硬的岩石到软弱的淤泥都可能遇见。而同样成分的粘土亦因含水量及孔隙率的不同而具有不同的强度，同样的砂土则因其松紧情况的不同也有不同强度。地质及水文地质条件的变化，也将引起地基和基础设计与施工方案的完全改变。同时在建筑物地址决定后，土的好坏没有选择的余地。这些特点正是本门科学所要深入研究和正确解决的问题。

特别重要的是，只有掌握了马克思列宁主义的辩证唯物主义的研究方法，才能根据本门科学的特点，揭露其内在的客观规律，从而正确地解决工程实践中所遇到的问题。应当记得，必须从不同的地区特性，不同的地质和水文地质等条件出发，具体问题具体解决，禁止使用无根据的假定数据或盲目参考附近的资料进行设计和施工。

对于给排水专业来说，学习本门课程的目的，在于使学生掌握地基基础学科的基本知识，并就此能对地基作出工程评价；合理地选择地基基础方案；独立地承担简单工程的地基基础设计工作。

学习这门课程时，将涉及工程地质学、水力学及其它力学与施工技术等科学。同时，具备建筑经济方面的知识也有其重大的意义。

§ 0—2 本课程的发展简史

地基基础作为有系统的科学来说只有三十多年的历史，但它和其它科学一样是建立在人类几千年对自然界斗争的实践经验的基础上的。毛主席在“实践论”中指出：“马克思列宁主义者认为人类的生产活动是最基本的实践活动，是决定其他一切活动的东西。”^①地基基础这门科学也正是随着社会生产力的发展而发生发展起来的。

我们的祖国是世界上文化最悠久的古国之一，几千年来，我们勤劳智慧的前辈创造了无数的光辉的文化艺术和工程建设的业绩。而任何工程建设无不涉及到地基基础问题。因而我们可以列举出祖国劳动人民对本门科学四、五千年来无数有文献和实物可查的伟大贡献。

西安半坡村新石器时代建筑遗址的发掘证实：远在五千年前，我们的祖先在处理地基和基础上已有卓越的贡献。在建筑工程方面，我们祖先的伟大创造是举世闻名的：两千年前修建的阿房宫以及现存的万里长城、首都的天坛、故宫、太庙（北京劳动人民文化宫）及分布在全国各地的许多古代建筑，历经千百年屹立至今，其地基和基础的布置和建造若不合适和不坚固则是不可能的。在宗教建筑中，如北魏（公元520年）在今河南登封县嵩山所建造的嵩岳寺砖塔，高达40米；唐代（公元704年）重建的西安大雁塔，高达64米，虽经多次地震而未损坏；北宋时（公元1001年）在今河北定县所建的料敌塔，高达80余米。塔是高層建筑，荷载也较大，数经地震影响而未损坏，则可想而知，它的地基和基础设计和建造技术达到了极高的水平。在桥梁工程方面值得特别提出的是隋代（公元581—618年）由杰出的匠师李春所造的河北赵县安济桥（通称赵州桥），它是世界上第一座空腹石拱桥，净跨达37.45米，若不是地基选择适当、基础可靠，决不可能历经千年以上而现仍完整无缺。约在一千年前五代时修筑的杭州湾大海塘是极伟大的石工岸壁，因造在软土上，很多处都是打桩的。在土工方面，我们祖先是早就有贡献的，象夯打地基和板筑（夯土）墙；在各类土木建筑中很早就广泛采用石灰来提高土的坚固性；用石灰桩加固软土以及用灰土护面層作水壩（湖北荆门县）；用碎砖、碎石和土分層夯实是有别于灰土的另一种地基加固方法（见宋代李明仲“营造法式”）。对于筑堤的地址，筑堤用土和取土地点的选择，对于堤断面的决定、土的夯打和验收保养也都有丰富经验。

世界各国的古代劳动人民，也同样有着伟大的贡献，如古代埃及的金字塔，罗马的神殿等。

随着资本主义兴起，社会生产力得到了进一步发展，对科学技术提出了新的要求，因而地基基础在欧美资本主义经济发达的国家中也得到了发展。1879—1881年间俄国学

① “毛泽东选集”第一卷，人民出版社1951年版，第281页。

者进行了有关土中应力分布的实验研究，这些研究当时曾成为世界上流行的一种计算方法，那就是基础压力按照一定的角度向下扩散平均分布于地基水平断面上的看法，这个方法虽然与实际不符，但是鼓励了当时科学家应用弹性理论研究土内应力的分布。俄国科学家庫尔裘莫夫在1887年使用模型研究基础下陷时地基内土粒移动的情况，对以后地基极限平衡理论的研究提供了现实的条件。

十八世纪末到十九世纪中，在理论方面也开始有发展。如1773年法国的庫倫和1857年英国的朗肯先后对土压力作了研究。创立了土压力的两个古典理论。1856年法国的达西研究了砂土的渗透性、创立了渗透定律。1918年德国的克莱提出了地基稳定分析的近似法。1920年法国的普蘭特尔研究了地基强度破坏的滑动面和极限荷载的理论公式。

专著出版，标志着本门科学的成熟程度，最早的一本著作是俄国卡尔·洛維奇的“地基和基础”。

但由于资本主义制度本身的腐朽及落后性，在资本主义国家近三十年来本门科学的发展远远落后于社会主义的苏联。苏联在地基基础方面惊人的成绩是：大型水工建筑物和重型高层的工业与民用建筑物广泛采用可压缩性土层作为天然地基，打破了必须造在基岩上的迷信。而且，近年来更采用了按极限状态设计地基的方法。其它如极限平衡理论、黄土及冻土方面的研究都作出了重大的贡献。应该指出，苏联学者们对太沙基等学者在土力学领域内的机械主义观点进行了批判，从而更促进了本门学科的发展。

我国从十五世纪以后，虽然在建筑工程中取得不少的伟大成绩，但终因我国封建社会的长期延续，束缚了社会生产力的发展。加之历代封建统治阶级对科学技术的歧视，对工艺技术认为是“雕虫小技”不加重视；特别是近百年来由于帝国主义的侵略和反动政府的卖国，使我国沦为半封建半殖民地，内有封建主义和官僚资产阶级的压迫和剥削，外有各帝国主义的掠夺，国民经济极为落后，科学技术也就得不到应有的发展。本门科学更很少有人注意。现代化建筑工程非但数量很少，而且仅有的也都由帝国主义承包。规模极小的土工试验室也只有寥寥可数的二、三个，土力学在解放前几乎是空白点，只有二、三个高等学校开设这门课程，以资点缀。

§ 0—3 建国以来我国在地基基础方面的伟大成就和本门科学的发展方向

1949年，我国人民在中国共产党领导下，推翻了帝国主义及其走狗反动派的统治，建立了中华人民共和国。从此“中国人民站起来了！”社会生产力得到空前的解放。并在伟大的苏联和社会主义阵营其他国家的无私援助下，国民经济建设事业得到蓬勃的发展。一日千里发展着的社会主义建设事业，为文化科学开拓了极其广阔的前途。特别是党提出了“鼓足干劲，力争上游，多、快、好、省地建设社会主义”的总路线以后，我国各族人民在以毛泽东主席为首的党中央英明领导下，高举了社会主义建设总路线。大跃进、人民公社三面红旗，斗志昂扬，意气风发，开展了轰轰烈烈的增产节约运动，在社会主义革命、社会主义建设的各个战线上取得了连续三年的持续大跃进的伟大成绩，取得极其丰富的革命和建设经验。地基和基础这门科学，在为我国社会主义建设服务中，同样得到了巨大的提高和发展，从几乎是空白点的基础上发展起来。而现在我国在

地基基础方面，无论在科学的水平或工作的规模上都已跃居世界先进国家之列。

1952年开始在全国纷纷建立勘察试验研究机构，建筑工程部、水利部和其它工业部门的基本建设单位都先后成立了地质勘测单位和土工试验室。在高等工业学校中设立了相应的专业、教研组和实验室。目前在全国基本上形成了一个强有力的地基基础研究网。在土力学及地基方面不论在普及与提高方面都获得了重要的成就。地基按变形计算的方法得到了很大的重视和推广，根据这个原理和大量的观测资料，北京市建筑物地基计算强度普遍提高了25%。

对分布在我国区域性特殊土（黄土、软粘土、泥炭土、盐渍土、戈壁滩）都进行了研究。

在地基处理方面，对我国传统的夯实加固、灰土和石灰桩都有了新的理论认识，并广泛使用于工程实践上。黄土的加固如热处理和砂化法等也试用成功，近年来又利用砂桩及砂井处理软土地基。

基础工程方面，也获得了巨大成就。在武汉长江大桥的基础工程上，创造性地利用了管桩承重深基础，以后这一经验又推广到其它大桥工程，而且在理论及施工中都有了新的发展。

1952年在上海首次使用井点法降低地下水位，以后广泛使用于水利、交通和各项建筑工程中，用以疏干基坑、稳定边坡和防止流砂。喷气井点法的试验成功，又大大使这一技术得到发展。

以上所列仅是我国建国十多年来在本门科学上的一部分成就，但这还远远不能满足我国社会主义建设飞速发展的需要。为此，必须掌握辩证唯物主义的研究方法，在毛泽东思想指导下，结合我国具体情况，使这门科学继续发展，更好地为社会主义建设服务。

本门课程今后研究的方向应着重在以下几个方面：

（1）进一步深入研究各类土的化学及物理力学性质，以期对各类土作出更符合实际情况的评价；

（2）对土采用直线变形体理论的问题进行分析、批判与研究，进一步提高变形计算的准确性；

（3）对地基土的稳定性及土压力和极限平衡理论进行深入的研究；

（4）工程地质勘察设计快速化、现场化，以符合多快好省地进行建设的原则；

（5）基础施工机械化、自动化的研究，提高施工水平。

第一章 土的物理性質

§ 1—1 土的組成

在工程上把松散的岩石称做土。地壳外層的岩石受到地球内部各种內力作用，如热力、断層、褶曲、火山等作用的影响，另外又受到外界的水、風、温度等風化及生物破坏作用，随时在分解破碎，有的随水流、冰川、烈風而轉移，有的殘积在原地，日久以后便构成了性質复杂的土。这种岩石風化層的厚度一般在地面下200—300米。

(一) 土的結構

土的結構是指矿物顆粒或其集合体的大小、形状、表面性質、互相排列和其間的粘結性質；它是在其沉积过程中及以后存在的条件下形成的。土的結構分为三类，如圖1—1所示。

1. 单粒結構

无粘性的砂粒土在水中下沉并和原来已沉积的土粒相遇时，便發生了分子引力。由于粒徑很大，引力起不到支持作用，該土粒就因其本身的自重而跌落，亦

即粗粒土在沉积过程中，其本身自重起着主要的作用。这样形成的結構叫做单粒結構。单粒結構形式簡單，受振动作用易密实。試驗証明，在密实状态下，孔隙約占全部体积的26%，疏松时的孔隙約占全部体积的47%。

2. 蜂巢結構

非常小的土粒，如粒徑为0.002毫米的土粒，其自重約 1×10^{-6} 达因，而分子引力約为 1×10^{-6} 达因，所以当土粒相遇發生引力作用时，因为分子吸引力大于顆粒自重而使土粒向下滾落并停留在其它顆粒上，形成一个具有較大孔隙率的結構，叫蜂巢結構。孔隙体积占全体积的比例較大，可达80%。圖1—2是蜂巢結構的形成情况。

3. 絮粒結構

土壤的顆粒再小一些，小于0.0001毫米时即为膠体顆粒并带有电荷，悬浮时作布朗运动。如在悬液中加入少量适当的电解質时，質点間所存在的相互排斥的作用就会停止。由于电分子引力的作用，使得許多質点結成一个較大的絮粒团沉淀下来。每一个絮粒团都是由許多很小的質点所形成的蜂巢結構，这种小的蜂巢結構联系起来就成为絮粒

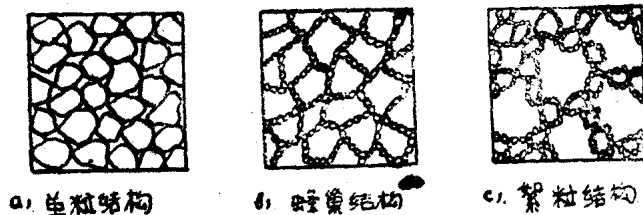


圖1—1 土的結構

結構。

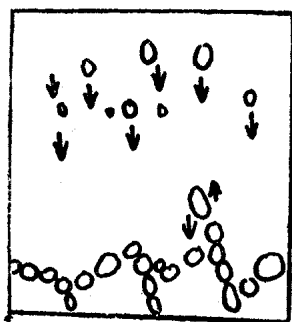


圖1—2 蜂巢結構的形成

上述的結構是基本形式。實際上土粒大小是極不均勻的，形成過程也非常複雜。而通常是三種結構形式混雜組成的較多。土的粘結性主要表現在蜂巢結構，密簇結構及混雜結構的土中。單粒結構的砂類土是無粘結性的。

(二) 土的組成

任何一塊土都是由固體、液體和氣體三部分組成的。固體部分一般由礦物顆粒所構成，但有時也含有有機質。固體部分通常叫做土粒，它組成土的骨架，其間

包含着各種大小不同又互相貫通的孔隙。由於水和空氣充滿其間，水和溶解物質組成了土的液體部分，空氣和其它一些氣體則組成土的氣體部分。這些土粒、水、氣體的形狀、數量、特性以及彼此相互的作用就決定了土性質的多样化，複雜化。

1. 土的固體顆粒

土粒的礦物成分對於土的性質起着重要的作用，特別是在細粒土中。按顆粒的粗細，松散程度，土基本上可分為礫、砂、粉砂及粘土等類別，見表1—1。

按不同粒徑的土的分類(毫米)

表 1—1

礫	砂			粉砂		粘土
	粗	中	細	粗	細	
$> 2 \quad \text{---} \quad 0.5 \quad \text{---} \quad 0.25 \quad \text{---} \quad 0.05 \quad \text{---} \quad 0.01 \quad \text{---} \quad 0.005 >$						

凡顆粒較大的土，其形狀都為圓形及稜角形；顆粒細小者，其形狀多為片狀。就粘性土而言，它是由高嶺土、伊里土和蒙脫土等粘土礦物所組成，晶體很小，其直徑通常 < 0.005 毫米，顆粒大都呈鱗片狀。蒙脫土在粘土中含量最多，造成了塑性、膨脹性及吸附能力較大，並惡化土的工程性能，遇到水的浸濕則承載能力降低很快。

2. 土中水

在天然狀態的土中，常含有若干水分，其存在狀態不同，表面活動也極其複雜。根據土質學家的研究，可將土中水，分成粘結水和自由水等兩種。

(1) 粘結水：經複雜的表面活動粘著在細顆粒表面上的水分叫粘結水。粘結水離顆粒表面越近，顆粒的粘結力就越大。它的冰點低於 0°C ，密度較普通水為大。據測量得知，粘結水的密度相當於普通水受有一萬大氣壓力時的數值，很接近固體形態。粘結水按粘著程度的不同又可分為：

(a) 吸著水：它是凝結在土顆粒表面上的水。一塊干土由空氣中吸來的水氣即為吸著水。吸著水在 -78°C 時不凍結，在壓力作用下不能移動，而只在 105°C 以上的溫度下才能烤乾，所以又叫做堅固粘結水。含有吸著水的粘土塊完全像致密的固體，可以碾碎成粉末。

(6) 薄膜水: 由于水分子引力作用而拘束在土粒外層的粘結水, 叫薄膜水。薄膜水因离土粒表面較远, 粘結力較小, 因此又叫做微弱粘結水。

(2) 自由水: 不受分子引力影响, 仅在重力作用或表面张力作用下, 在土內流动的水, 叫自由水。自由水又可分为重力水和毛细水两种。

(a) 重力水: 是不受吸向顆粒表面的分子引力所作用的自由水。它在外力和自重作用下能够自由移动。

(6) 毛细水: 是位于地下水位以上、在土的微細孔隙中受毛细作用而移动的水。圖 1—3 是各种土中水的示意图。其中 1 表示粘土顆粒被部分吸着水所包围; 2 表示最大吸着水; 3 及 4 表示薄膜水。薄膜水总是从水分較多处(水膜較厚处)移向水分較少处, 并趋向平衡, 如 3、4 中虛綫所示。5 表示薄膜水和加厚后而成为重力水。

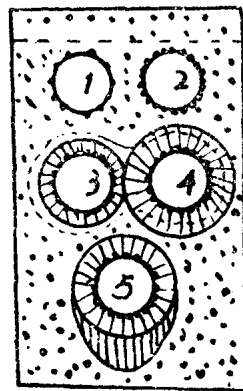


圖 1—3 土中水的示意图

3. 土中的气体

土中的气体可分为:

(1) 与大气相联通的气体;

(2) 与大气不联通的气体。后者往往存在于粘土中, 呈封閉状态, 形成气泡, 使土的透水性减低而弹性增强。

§ 2—2 土的基本物理特征

(一) 由試驗得来的基本物理性质指标

圖 1—4 是三相土体内各組成部分的示意图。

設 V_c ——土矿物顆粒的实际体积 (厘米³);

V_n ——土孔隙的体积 (厘米³);

V_a ——空气的体积 (厘米³);

V_B ——土中水的体积 (厘米³);

g_c ——土矿物顆粒的重量 (克);

g_B ——水的重量 (克);

g ——土的总重量 (克);

g_o ——土中气体的重量, 并假定为零。

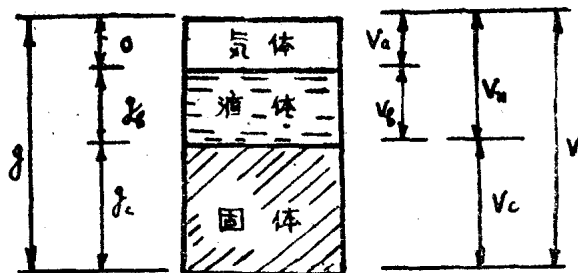


圖 1—4 三相土各組成部分的体积和重量

土的顆粒比重 (Δ) 容重 (γ) 及含水量 (w) 是用来表示土的基本物理性質的指标。这些指标都是通过試驗求得的。

1. 顆粒比重 (Δ)

不考虑空气与水的重量时, 土中矿物顆粒重量与其实际占有的体积比叫做顆粒比重

或土粒比重。它可以用简单的公式表示，即：

$$\Delta = \frac{g_c}{V_c} \text{ 克/厘米}^3 \quad (1-1)$$

土的颗粒比重的大小是由组成土体的矿物成分来决定的。通常比重也可用不名数来表示，例如：

砂	土	2.65—2.67
亞砂	土	2.67—2.69
亞粘	土	2.67—2.74
粘	土	2.75

一般近似地认为砂性土的颗粒比重为2.65；粘性土颗粒比重为2.72。

2. 容重 (γ)

土在天然状态下单位体积的重量叫做容重，即：

$$\gamma = \frac{g}{V} \text{ 克/厘米}^3 \quad (1-2)$$

土的容重随组成土的矿物成分、性质、比例、孔隙多少及水分的含量而不同，一般土的容重在1.6—2.2克/厘米³之间。

天然状态下，单位体积内干土粒的重量称为干容重 γ_c ，即：

$$\gamma_c = \frac{g_c}{V} \text{ 克/厘米}^3 \quad (1-3)$$

天然状态下单位体积的土，充水饱和后的重量称为饱和容重 γ_H ，即：

$$\gamma_H = \frac{g_c + V_n \Delta_B}{V} \text{ 克/厘米}^3 \quad (1-4)$$

式中 Δ_B ——水的比重。

3. 含水量 (w)

土的含水量是一定体积土内水的重量与土颗粒重量的比，通常用百分数表示，即：

$$w = \frac{g_B}{g_c} \times 100\% \quad (1-5)$$

含水量的多少对粘土类土的稳定性与强度影响颇大，为土的重要的特性指标。

(二) 由计算得来的物理性质指标

1. 孔隙比 (e)

土孔隙体积与颗粒体积之比称为孔隙比，即：

$$e = \frac{V_n}{V_c} \quad (1-6)$$

$$\therefore \frac{V_n}{V_c} = \frac{V - V_c}{V_c} = \frac{V}{V_c} - 1 = \frac{\Delta V}{g_c} - 1 = \frac{(1+w)\Delta}{\gamma} - 1$$

$$\therefore s = \frac{(1+w)\Delta}{\gamma} - 1 \quad (1-7)$$

2. 孔隙率或孔隙度 (n)

土的孔隙体积和全部体积之比称为孔隙率, 通常以百分比表示之, 即:

$$n = \frac{V_n}{V} \times 100\% \quad (1-8)$$

$$\frac{V_n}{V} = \frac{V_n}{V_c + V_n} = \frac{\frac{V_n}{V_c}}{1 + \frac{V_n}{V_c}} = \frac{s}{1 + s} \quad (1-9)$$

3. 饱和度 (G) (湿度系数)

土内水所占据的体积与全部孔隙体积的比称为饱和度; 即:

$$G = \frac{V_w}{V_n} \quad (1-10)$$

$$\begin{aligned} \therefore \frac{V_w}{V_n} &= \frac{g_B}{\Delta_B V_n} = \frac{g_B}{V_n} = \frac{g_c w}{V - V_c} = \frac{\frac{g_c}{V_c} \cdot w}{\frac{V}{V_c} - 1} = \frac{\Delta w}{\frac{V_n + V_c}{V_c} - 1} = \frac{\Delta w}{s} \\ \therefore G &= \frac{\Delta w}{s} \end{aligned} \quad (1-11)$$

(三) 颗粒比重 Δ 、孔隙比 e 、含水量 w 与容重 γ 的关系

为了推导方便起见, 我们取出一块土壤使土颗粒体积等于 1, 土壤横断面积为一个单位时, 土壤高度即可代表土壤体积。

1. 干容重

$$\gamma_c = \frac{g_c}{V} = \frac{g_c}{V_n + V_c} = \frac{\Delta V_c}{V_c + V_n} = \frac{\Delta}{1 + s} \quad (1-12)$$

2. 湿容重

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{g}{V} = \frac{g_c + g_B}{V_c + V_n} = \frac{g_c + w g_c}{1 + s} = \frac{g_c(1 + w)}{1 + s} \\ &= \frac{\Delta V_c(1 + w)}{1 + s} = \frac{\Delta(1 + w)}{1 + s} \end{aligned} \quad (1-13)$$

3. 饱和容重

$$\gamma_H = \frac{g}{V} = \frac{g_c + g_B}{V_n + V_c} = \frac{\Delta V_c + V_n \Delta_B}{V_c + V_n} = \frac{\Delta + s}{1 + s} \quad (1-14)$$

4. 浸水容重 (地下水位以下的容重) 或浮容重

$$\gamma' = \gamma_H - \Delta_E = \gamma_H - 1 = \frac{\Delta + s}{1 + s} - 1 = \frac{\Delta - 1}{1 + s} \quad (1-15)$$

§ 1-3 粘性土的稠度

所谓粘性土包括各种粘土，亚粘土和亚砂土。这一类土在天然状态下的密实程度取决于其稠度，也就是取决于其含水量的多少。当含水量发生变化时，土将处于不同的状态（液体，塑态和固态）。瑞典阿太堡建议选定两种临界含水量作为上述状态的界限，如图 1-5 所示。

同一种粘土当其含水量很小时，呈固体状态。含水量增加至某一数值时，土体在外力作用下可塑成任何形状而无裂缝的状态称为塑性状态。含水量继续增加，土体间的摩擦系数近于零，加极小剪力即发生变形的状态称为流动状态。

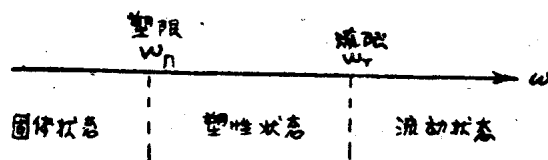


图 1-5 阿太堡界限示意

区别土处在固体状态或塑性状态的临界含水量称为塑性限度，简称为塑限，以 W_p 来表示。

区别土处在塑性状态或流动状态的临界含水量称为流性限度或称为流限，以 W_L 来表示。

流限与塑限之差称为塑性指数，以 W_p 表示之。

$$W_p = W_L - W_p \quad (1-16)$$

塑性指数是土的塑性的一个定量指标，也表明了粘土类土处于塑性状态的范围。所以塑性指数愈大，其处于塑态时含水量的范围也愈大，塑性也愈显著。

由粘性土塑性指数的大小，可约略反映出粘土的特性。因此利用塑性指数作为粘土的分类依据见表 1-2。

粘土类土按塑性指数 W_p 的分类 表 1-2

土的名称	塑性指数 W_p
粘土	$W_p > 17$
亚粘土	$7 < W_p \leq 17$
亚砂土	$1 \leq W_p \leq 7$

流限与塑限均可由试验方法求得。这样，按苏联天然地基规范“HHTY127-55”规定，当粘土类土天然含水量 $w \leq W_L$ ， $G \geq 0.8$ 时，如果 $w < 1.2 W_p$ 时为坚硬的；而 $w > 1.2 W_p$ 时为可塑的。

除了上述标准以外，在实践中也经常用稠度指数 B 作为稠度的指标，即：

$$B = \frac{w - W_p}{W_L - W_p} \quad (1-17)$$

式中 w 是土的天然含水量。由相对稠度的数值也可以判定土所处的状态，如

$B > 1$ ，粘土处于流动状态；

$1 > B > 0.75$ ，粘土处于软可塑状态；

$0.75 > B > 0.5$ ，粘土处于可塑状态；

$0 < B < 0.5$ ，粘土处于硬可塑状态；

$B \leq 0$ ，粘土处于坚硬状态。

§ 1—4 砂类土的密实度

固体状态的砂，加水后即变为流动状态。所以，当其含水量不同时，呈现出不同的物理状态，其間是不經過塑态的。因此就不能用稠度来表示砂土类土在天然状态时的密实程度。

砂类土的密实度，不宜直接用孔隙比的大小来说明。因为某些颗粒比较均匀的砂，当颗粒相互間靠得较紧密时，其孔隙比仍可能较颗粒级配好的松砂大，为了正确地表明砂类土在天然状态时的紧密程度，通常用相对密度 D （又叫紧密度）来表示。

如果测定了天然状态下某砂土的孔隙比为 e ，同时又在实验室内测定了这种砂土处于最松状态下的孔隙比 e_{max} 及处于最密实状态下的孔隙比 e_{min} ，按相对密度定义，可用下式表示：

$$D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (1-18)$$

当 $0 < D \leq \frac{1}{3}$ ，砂土是疏松的；

$\frac{1}{3} < D \leq \frac{2}{3}$ ，砂土是中实的；

$\frac{2}{3} < D \leq 1$ ，砂土是密实的。

鉴于 e_{max} 及 e_{min} 的测定，常因仪器的不统一及操作上的差别而出入很大，所以也影响了依相对密度来判定砂土密实程度的准确性。特别是以 1 、 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{2}{3}$ 等作为界限值更是没有实际根据的。苏联近年来统计整理了大量的试验结果，得出了砂土在天然状态下孔隙比与密实度的关系，并载入苏联规范 $\text{HиTy}127-55$ 中，以供设计时参考（见表 1—3）。

砂类土的密实度

表 1—3

砂 土 的 名 称	密 实 度		
	密 实 的	中 实 的	疏 松 的
细砂、粗砂、中砂	$e < 0.55$	$0.55 \leq e \leq 0.65$	$e > 0.65$
细 砂	$e < 0.60$	$0.60 \leq e \leq 0.70$	$e > 0.70$
粉 砂	$e < 0.60$	$0.60 \leq e \leq 0.80$	$e > 0.80$

§ 1—5 土的粒径级配

土的骨架是由各种不同大小的矿物颗粒所组成。而组成土粒的矿物粒径大者达数厘米，小者至千分之几毫米。因此有必要来决定土内各种土粒的相对含量。试验室内多用机械分析法确定土颗粒的组成情况，作为土的分类和土工建筑物选料的依据。把各种不同大小的土粒分成粒组，其相对含量是以其所占土全部重量的百分数来表示。

为了决定粒径级配，必须进行颗粒分析试验，并决定其各粒组部分重量对土全部重