

绪 论

0.1 土力学与地基及基础概述

土力学是以土为研究对象的一门学科，主要研究土的物理、力学性质及其受荷载作用后的强度、变形与稳定性的变化规律。

任何土木建筑工程均要与土发生直接的关系：建造房屋、桥梁时，土作为地基支承建筑物的全部重量；修筑道路和水利堤坝时，土作为建筑材料而使用；开挖运河、渠道以及修建地下建筑时，土则作为建筑物的周围介质。因此，在进行土木工程建设时，必须了解土的特点。土是地壳岩石经过强烈风化后产生的碎散矿物集合体，它是由固体颗粒、液体和气体所组成的三相物质体系，具有强度低、受力后压缩变形大以及透水性低、固结时间长等特点。土与各种连续体（如弹性体、塑性体、黏滞体等）比较，有一系列更为复杂的物理力学性质；同时土的性质还受环境条件（如气候、地形、成因、地下水等）的影响，以致现有土力学理论还难以模拟、概括天然土层在荷载作用下的力学性状全貌。因此，目前在解决土工问题时，必须借助经验、现场试验以及室内试验辅以理论计算，所以土力学是一门强烈依赖于实践的学科。

地基是直接承受建筑物荷载影响的那一部分地层；天然土层可以直接作为建筑物地基的称为天然地基；需经人工加固处理后才能作为建筑物地基的称为人工地基。基础是将建筑物荷载传递给地基的地下结构部分。基础有多种形式，通常把相对埋深不大，采用一般方法与设备施工的基础称为浅基础，如单独基础、条形基础、筏形基础、箱型基础等。把基础埋深超过某一值，且需要借助特殊的施工方法才能将建筑物荷载传递到地表以下较深土（岩）层的基础称为深基础，如桩基础、墩基础、沉井基础及地下连续墙等。地基与基础设计必须满足两个基本条件：（1）要求作用于地基的荷载不超过地基的承载能力，保证地基有足够的防止整体破坏的安全储备；（2）控制基础沉降使之不超过地基的变形容许值，保证建筑物不因地基变形而损坏或影响其正常使用。在荷载作用下，建筑物的地基、基础和上部结构三部分彼此联系、相互制约。设计时应根据地质勘察资料，综合考虑地基—基础—上部结构的相互作用与施工条件，通过经济、技术比较，选取安全可靠、经济合理、技术先进和施工简便的地基基础方案。

0.2 本学科的重要性

地基和基础位于地面以下，是隐蔽工程。为了保证工程安全，地基土体必须满足承载力和稳定性要求，还必须满足其变形（沉降和不均匀沉降）不超过建筑物的允许值要求。若不满足上述要求，就可能发生严重的工程事故。建筑物事故的发生，不少与地基问题有关。地基的过量变形或不均匀变形，使上部结构出现裂缝、倾斜，削弱和破坏了结构的整体性，并影响到建筑物的正常使用，严重者地基失稳导致建筑物倒塌。比如著名的意大利比萨斜塔发生的塔身严重倾斜就是地基非均匀沉降所致；又如 1913 年修建的加拿大特朗斯康谷仓，由于地基强度破坏而发生的整体滑动，是建筑物失稳的典型例子。

另外，基础工程的造价和施工工期在建筑总造价和总工期中所占的比例较大，与多种因素有关。比如对钢筋混凝土和一般地质条件，采用箱形基础或筏形基础的多层建筑，其基础工程的费用占建筑总费用的 20%，高的甚至可以达到 30%，相应的施工工期占建筑总工期的 20%~25%，对于高层建筑，其地基基础工程设计要求和施工中的技术难度均会进一步提高。

0.3 学科发展概况

1. 国内的发展历史

我国木桩基础的使用源远流长。如河姆渡文化遗址中发现的 7 000 年前钱塘江南岸沼泽地带木构建筑下的木桩为世所罕见，公元前 532 年在今山西汾水上建成的三十墩柱木柱梁桥（《水经注》），以及秦代所建渭桥（公元前 221—公元 206 年，《三辅黄图》）等也都为木桩基础，再如郑州隋朝超化寺打入淤泥的塔基木桩（《法苑珠林》）、杭州湾五代大海塘工程木桩等都是我国古代桩基础技术应用的典范，雄辩地证明了我国古代劳动人民在工程实践中积累了丰富的土力学与基础工程的知识。

中华人民共和国成立后，我国在建筑工程中成功地处理了许多大型和复杂的基础工程。例如：利用电化学加固处理的中国历史博物馆地基，解决了施工期短、质量要求高的困难；在万里长江上建成的十多座长江大桥（武汉、南京长江大桥等）及其他巨大工程中，采用管柱基础、气筒浮运沉井基础等，成功地解决了水深流急、地质复杂的基础工程问题。

近年来，我国在岩土工程勘察、室内及现场土工试验、地基处理、新设备、新材料、新工艺的研究和应用方面，取得了很大的进展。在地基处理方面，振动碾压、振动水冲、深层搅拌、高压旋喷、粉体喷射、真空预压、强夯以及各种土工聚合物和托换技术等，在土建、水利、桥隧、道路、港口、海洋等有关工程中得到了广泛应用，并取得了较好的经济技术效果。

2. 国外的发展历史

1773 年，法国科学家库仑（C. A. Coulomb）创立砂土抗剪强度公式，提出挡土墙土压力的滑动楔体理论。

1856 年，法国工程师达西（H. Darcy）研究砂土的透水性，提出层流运动的达西定律。

1857 年，英国科学家朗肯（W. J. M. Rankine）从另一途径研究了挡土墙的土压力理论。

1876 年，捷克斯洛伐克工程师文克尔（E. Winkler）提出了铁轨下任一点的接触压力与该

点的沉降成正比的假设。

1885年，法国物理学家布辛尼斯克（Boussinesq）求得了半无限弹性体在竖向集中荷载作用下的应力与变形的理论解答。

1915年，瑞典的彼得森（Pettersson）首先提出土坡稳定分析的整体圆弧滑动面法，后由瑞典的费伦纽斯（Fellenius）及美国的泰勒（Taylor）进一步发展。

1920年，法国学者普朗特（L. Prandtl）发表了地基剪切破坏时的滑动面形状和极限承载力公式。

1925年，美国土力学家太沙基（K. Terzaghi）出版了《土力学》一书。

0.4 本课程的特点、内容与学习要求

1. 土力学与地基基础课程的学习特点

本课程包括土力学和基础工程两部分，是土木工程相关本专科专业的一门核心课程。它涉及工程地质学、土力学、结构设计和施工等几个学科领域，内容广泛，综合性、理论性和实践性很强。

2. 土力学与地基基础课程的内容设置

全书共分为三篇：第一篇包括第1章至第4章，介绍了土力学的基本原理及其计算方法，分别为土的物理性质及工程分类、土中的应力、土的压缩性和地基沉降计算、土的抗剪强度与地基承载力；第二篇包括第5章至第6章，介绍了土力学在工程中的应用，分别为工程地质勘察、土压力和土坡稳定；第三篇包括第7章至第10章，介绍了地基基础设计与施工技术，分别为天然地基上的浅基础设计、桩基础及其他深基础、地基处理、区域性地基。

3. 土力学与地基基础课程的学习要求

在本课程的学习中，读者必须自始至终抓住土的变形、强度和稳定性问题这一重要线索，并特别注意认识土的多样性和易变性等特点。此外，还必须掌握有关的土工试验技术及地基勘察知识，对建筑场地的工程地质条件作出正确的评价，才能运用土力学的基本知识去正确解决基础工程中的疑难问题。

1 土的物理性质及工程分类

1.1 概 述

土是地壳完整岩石经受强烈风化、剥蚀、搬运、沉积形成的第四纪松散堆积物。

岩石风化后的产物，有些原地残存堆积，有的则在重力、流水、冰川、风力等各种自然营力的作用下移动，被搬运到低处沉积。搬运作用可使颗粒磨圆，引起一定程度的颗粒分选，从而使土具有大小不同的颗粒。不同方式的搬运与不同的沉积条件，使土形成不同类型的沉积物，即残积物、坡积物、洪积物、冲积物、湖积物、海积物、风积物等并不同程度地发育层理构造。

一般情况下，土的颗粒之间有大量孔隙，而孔隙中通常有空气和水。在天然状态下，土呈三相系，即由固体颗粒、水和空气三相所组成。当孔隙全部为水所填充时，称为饱和土；反之，当孔隙中没有水，全部为气体所填充时，称为干土。饱和土和干土都是二相土。

土中的颗粒、气体和水三者之间的相互作用以及它们在体积、重量之间的比例关系，反映了土的物理性质和物理状态，可以对土进行分类。因此，土的三相组成，以及天然状态下土的结构和构造，对研究土的工程性质有着重要的意义。在进行工程设计和施工时，应了解土的物理特征和工程力学性质及其变化规律，掌握土的物理性质指标的测定方法和指标间的相互换算。

本章着重介绍土的组成、土的物理性质指标与物理状态指标以及土的工程分类。

1.2 土的成因及组成

1.2.1 土的成因

土是地壳表层的物质，它是岩石在长期分化、剥蚀、搬运、沉降过程中形成的，大小不等且未经胶结的固体矿物、水和气体的集合体。土是由许多矿物自然结合而成的。土体不是一般土层的组合体，而是与工程建筑的稳定、变形有关的土层的组合体。

地壳表面广泛分布着的土体是由完整坚硬的岩石经过风化、剥蚀等外力作用形成的碎块或矿物颗粒，再经水流、风力或重力作用、冰川作用等搬运，在适当条件下沉积成各种类型

的土体。在搬运过程中，由于形成土的母岩成分的差异，颗粒大小、形态，矿物成分又进一步发生变化，并在搬运及沉积过程中由于分选作用形成在成分、结构、构造和性质上有规律的变化。

1.2.2 土的物质组成

土的固体颗粒主要由矿物颗粒、有机物颗粒及岩屑颗粒构成土的骨架部分，即固相；土孔隙中的水及其溶解物构成土中液体部分，即液相；空气及其他一些气体构成土中气体部分，即气相。

土的固体颗粒是由各种不同成分、不同大小的矿物颗粒、生物碎屑颗粒及岩屑颗粒组成的。土的矿物成分、颗粒级配和土的结构对土的工程性质有很大的影响。

1. 土粒的矿物成分

土粒的矿物成分与其成土过程中的风化作用有密切关系。在物理风化作用下，土粒保持与成土原岩相同的矿物成分，如长石、石英、云母颗粒，这些颗粒就是原生矿物。在化学风化作用下，由于改变了成土原岩原来的矿物成分，形成了新矿物，即次生矿物，如蒙脱石、伊里石、高岭石颗粒都是次生矿物。一般来说，物理风化生成的原生矿物颗粒较粗，如由其组成的砾石、砂粒。化学风化生成的次生矿物颗粒较细，如某些黏土颗粒。

粉粒的矿物成分主要是由化学性稳定的（如石英）或硬度较小的原生矿物（如白云母、长石）所组成。

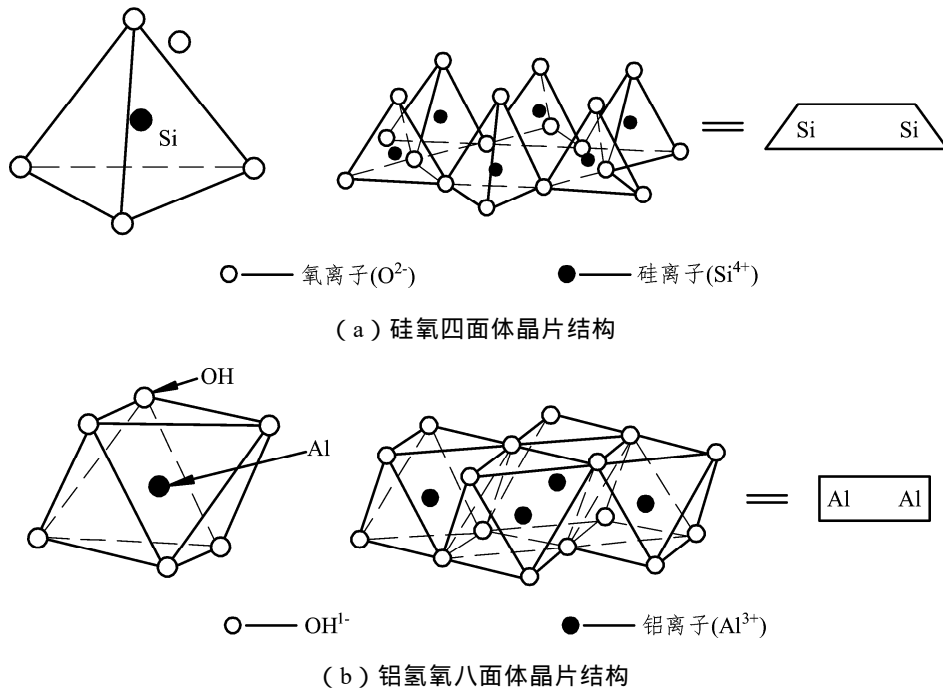


图 1.1 黏土矿物的晶片示意图

在电子显微镜下观察到的黏土矿物是呈鳞片状或片状的晶体。经 X 射线分析证明，其内部具有层状晶体构造，即其原子排列成一定的几何形态，并且是由两个基本结晶单元（称为晶片）构成的。一种是硅氧晶片，它的基本单元是 Si-O 四面体。另一种是铝氢氧晶片，它的基本单元是 Al-OH 八面体（图 1.1）。

晶片结合情况不同，就形成了具有不同性质的各种黏土矿物。其中主要有蒙脱石、伊利石、高岭石三类。

蒙脱石的结构单元是由两层硅氧晶片之间夹一层铝氢氧晶片结合而形成基本层组（也称晶胞），多个层组叠连在一起形成一个矿物颗粒。由于这种层组表面分布的是氧原子，其间没有氢键，因此联结力很弱，可以吸进很多水分子[图 1.2 (a)]。吸入的水分子可以使颗粒从层组间断开，而分成更小的颗粒，甚至分成单个层组的颗粒。所以，蒙脱石颗粒最小，亲水性最大，具有膨胀性和收缩性。

伊利石的结构单元类似于蒙脱石，但 Si-O 四面体中的四价硅离子 Si^{4+} 可以部分被三价的铝离子 Al^{3+} 、铁离子 Fe^{3+} 所取代，并在相邻的层组间可能出现若干一价钾离子 K^+ ，使其联结力较蒙脱石大，所以伊利石颗粒大小和亲水性介于蒙脱石和高岭石之间[图 1.2 (b)]。

高岭石的结构单元是由一层硅氧晶片与一层铝氢氧晶片交替构成的基本层组，许多这样的层组叠连在一起构成矿物颗粒。这种基本层组的一面露出的氢氧基与另一面露出的氧原子相遇，具有较强的联结力，水分子不能楔入，难于使层组之间断开，天然颗粒常能保持较多层组（100 个以上），所以高岭石颗粒较大，亲水性最小[图 1.2 (c)]。

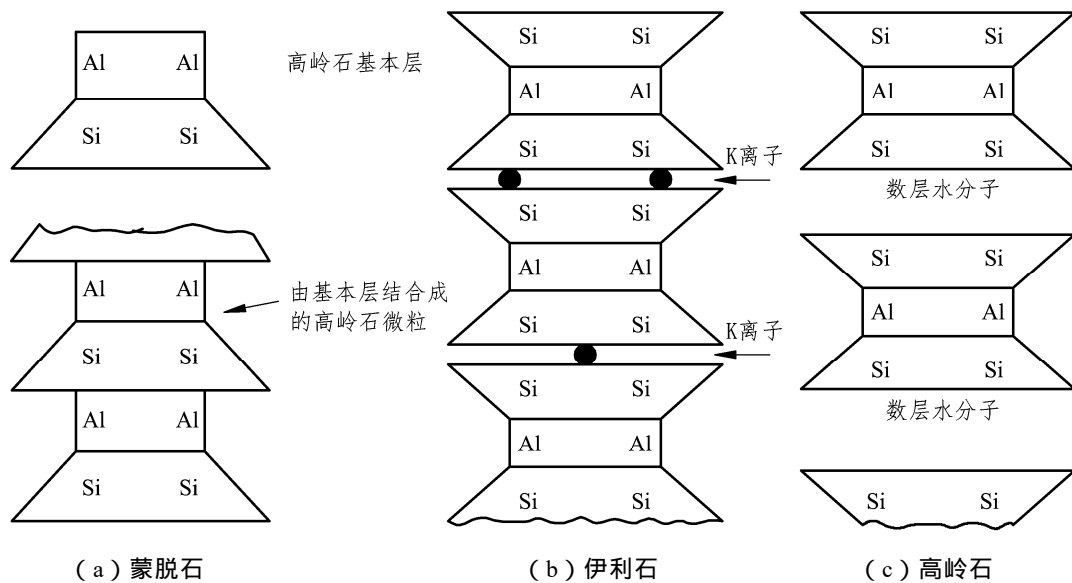


图 1.2 黏土矿物构造单元示意图

2. 土的颗粒级配

自然界的土是由大小不同的土粒组成，土粒的大小通常用粒径表示。土粒粒径的变化使土的性质相应地改变。因此，可以把某些基本性质接近或相同的不同粒径的土粒按适当的粒径范围划分为不同的粒组。工程中按照使土的性质发生显著变化的分界尺寸——界限粒径将土

划分为若干粒组。表 1.1 是工程中常用的土粒粒组划分方法，表中根据界限粒径 200、20、2、0.075 和 0.005 mm 把土粒分为：漂石（块石）颗粒、卵石（碎石）颗粒、圆砾（角砾）颗粒、砂粒、粉粒及黏粒六大类，并列出了各粒组的范围和相应的特性。

表 1.1 土粒粒组的划分

粒组名称		粒径范围/mm	一般特征
漂石或块石颗粒		>200	透水性很大，无黏性，无毛细水，不能保持水分
卵石或碎石颗粒		200 ~ 20	
圆砾或角砾颗粒	粗	20 ~ 10	透水性大，无黏性，毛细水上升高度不超过粒径大小，不能保持水分
	中	10 ~ 5	
	细	5 ~ 2	
砂粒	粗	2 ~ 0.5	易透水，无黏性，无可塑性，毛细水上升高度很小
	中	0.5 ~ 0.25	
	细	0.25 ~ 0.1	
	极细	0.1 ~ 0.075	
粉粒	粗	0.075 ~ 0.01	透水性小，湿时稍有黏性，毛细水上升高度较大较快，在水中易悬浮，易出现冻胀现象
	细	0.01 ~ 0.005	
黏粒		<0.005	透水性很小，湿时有黏性、可塑性，其性质随含水量变化，毛细水上升高度大，但速度较慢

风干土中各粒组的含量占全部土粒重量的百分比即土中各粒组的相对含量，称为土的颗粒级配。土的颗粒级配是通过颗粒分析测定的。土粒粒径大于 0.1 mm 的土样用筛分法，小于 0.1 mm 的土样用比重计法测定。如果土中同时含有大于和小于 0.1 mm 的土粒，应采用上述两种方法同时测定。

根据颗粒分析结果求出各粒组的含量占全部土粒重量的百分比，然后按小颗粒至大颗粒计算累积百分含量，用半对数坐标绘制成颗粒级配累积曲线（图 1.3）。

累积曲线的形态表明土粒的分布情况。曲线平缓说明土粒粒组分布范围广，土粒大小不均匀，土的级配良好（如图 1.3 B 线）。曲线陡说明土粒粒组分布范围窄，土粒均匀，土的级配不良（如图 1.3 A 线）。

为了判断土的级配优劣，采用不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 两个指标。

$$\text{不均匀系数} \quad C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1.1)$$

$$\text{曲率系数} \quad C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \cdot d_{10}} \quad (1.2)$$

式中 d_{60} ——累积曲线上小于某粒径含量为 60% 时所对应的粒径值，称为土的限制粒径；

d_{10} ——累积曲线上小于某粒径含量为 10% 时所对应的粒径值，称为土的有效粒径；

d_{30} ——累积曲线上小于某粒径含量为 30% 时所对应的粒径值，称为土的中值粒径。

不均匀系数 C_u 越大，表示土中所含粒径越不均匀。工程上把 $C_u > 5$ 看作级配不均匀，把 $C_u < 5$ 看作级配均匀。曲率系数 C_c 反映累积曲线弯曲的程度。当 $C_c = 1 \sim 3$ 时，则认为级配是