

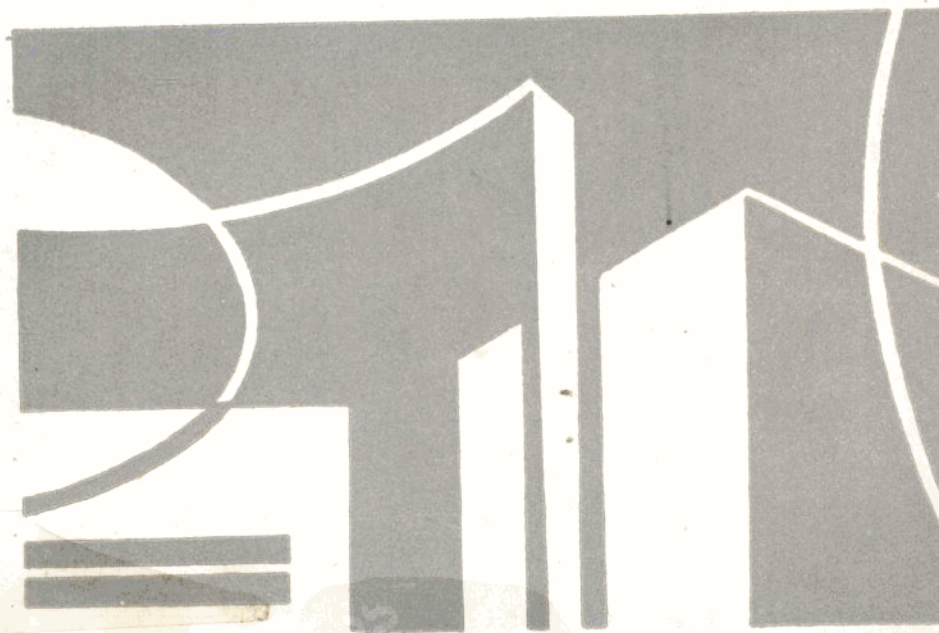
005060

学校试用教材

TU4
42

土力学及 地基基础

张述勇 郭秋生 编



中国建筑工业出版社



平
油
PDG

前 言

长期以来给水排水专业“土力学及地基基础”课程一直以工业与民用建筑专业的《地基基础》一书作为代用教材,虽然也能基本上满足教学要求,但是在教学中需补充大量的给排水工程实例和根据该专业特点需要加强的内容,这给教师备课、讲解和学生复习、理解带来诸多不便,不利于教学质量的提高。

本教材密切联系给水排水专业特点。读者从书中可以了解到配有插图的给排水构筑物地基基础工程实例;给排水专业所涉及的管道上的竖向土压力计算;沉井中的土力学现象;水塔、水池圆形基础的设计;特殊地基上的给排水构筑物。总之,对给排水专业有关的计算要求和构造要求都作了比较详尽的介绍。

本教材针对中专学生的特点编写,力求做到深入浅出,循序渐进,理论联系实际,重点突出,以图解文,图文并茂。例如,通过插图定性理解公式的意义和基本概念,其中用几何定理直观地证明“土中一点的极限平衡条件”是编者为避开中专学生不熟悉的三角函数证明法而采用的数形结合教学经验总结,此次编入教材中以利学生复习,开阔思路。为便于学生理解教材所论述的概念和规律,书中配有适量的典型例题、思考题和习题。为了普及新规范,方便中专学生进一步自学提高,本书对个别偏深的内容以“*”号区别之,可作为选修教材。

本教材按《建筑设计统一标准》(GBJ 68—84)、《建筑设计通用符号、计量单位和基本术语》(GBJ 83—85)、《建筑结构荷载规范》(GBJ 9—87)、《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89)、《给水排水工程结构设计规范》(GBJ 69—84)等建筑结构新规范编写。对《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89)中关于 $f \geq 1.1 f_k$ 的规定作了解释说明,严格按《建筑设计通用符号、计量单位和基本术语》(GBJ 83—85)对质量、重力两术语的解释,将含水量定义为质量之比,避开了意义含混的“重量”一词,明确了质量密度与重力密度的联系与区别,并按新规范修订的计算方法编写了例题。

本教材由北京城市建设学校张述勇、郭秋生编写,郑毅、李刚等为本书绘制了全部插图。

本书由北京建筑工程学院李靖森副教授主审,在编写过程中得到北京城市建设学校郭继武高级讲师的指导和帮助,在脱稿前,专家评审组各位高级工程师、教授为本书成稿提出极宝贵的意见和修改建议,在此一并表示衷心的感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免疏漏之处,恳请读者指正。

目 录

前 言	
第一章 绪论	1
第二章 土的物理性质与地基土(岩)的分类	6
第一节 土的成因与组成	6
第二节 土的物理性质指标	13
第三节 粘性土的塑性	17
第四节 填土压实及最优含水量	19
第五节 地基土(岩)的分类及土的物理状态	22
第三章 土的压缩性与地基变形计算	28
第一节 自重应力的计算	28
第二节 基底压力与基底附加压力	31
第三节 地基中的附加应力	33
第四节 土的压缩性	57
第五节 地基最终变形量计算	63
第六节 地基变形与时间关系的估算	73
第四章 土的抗剪强度与地基承载力	78
第一节 土的抗剪强度与直剪试验	78
第二节 土的极限平衡条件及三轴剪切试验	80
第三节 地基承载力设计值的确定	85
第五章 土压力与土坡稳定	106
第一节 土压力的概念	106
第二节 竖向土压力的计算	108
第三节 侧土压力的计算	111
第四节 土坡稳定分析与挡土墙设计	123
第六章 天然地基上浅基础设计	132
第一节 工程地质勘察	132
第二节 地基基础的计算原则	136
第三节 基础的类型	137
第四节 基础的埋置深度	144
第五节 基底面积的确定	145
第六节 刚性基础剖面设计	152
第七节 减轻不均匀沉降的措施	160
第七章 桩基础及沉井基础	164
第一节 桩基础概述	164
第二节 单桩的竖向承载力	166

第三节 桩基础设计 169
 第四节 沉井基础 185
 第八章 人工地基与特殊土地基 192
 第一节 人工地基 192
 第二节 特殊土地基 196
 附录 202
 参考文献..... 203

第一章 绪 论

一、本课程研究的对象

本课程着重研究给水排水工程结构的地基基础设计问题。地基是承受基础传来各种荷载作用的土层或岩层（我们将土层和岩层统称为地层），而基础则是将建筑物所承受的荷载作用传递给地基的结构组成部分。这里所涉及到的结构系指在组成建筑物的各种构件中，由若干构件连接而成的能承受荷载作用的骨架体系，简言之，结构是受力的骨架体系。新规范所指的作用是指施加在结构上的荷载或其它引起结构变形的原因。

图1-1所示的水塔直观地告诉我们什么是地基，什么是基础。建造在土层上的水塔，其水箱、塔身承受的重力荷载和风荷载是通过地面以下的扩大部分传递到地层上的，图1-2所示的清水池、下水管道置于土层之中，其上覆土重、路面车辆荷重、水池及管道的自重，则是通过水池底板、或管道基座传递给土层的，因此，我们将水塔在地面以下的扩大部分、水池的底板、管道的基座分别叫做水塔、水池、管道的基础。基础下面的地层则叫做地基。

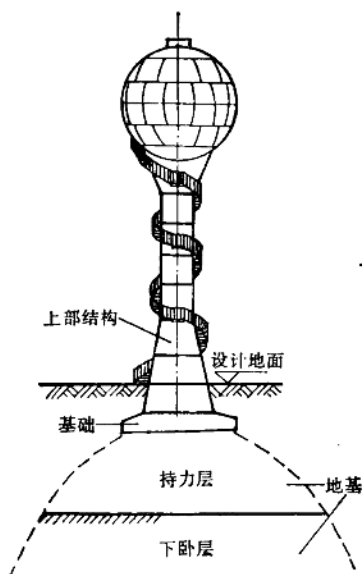


图 1-1 水塔及其地基、基础示意图

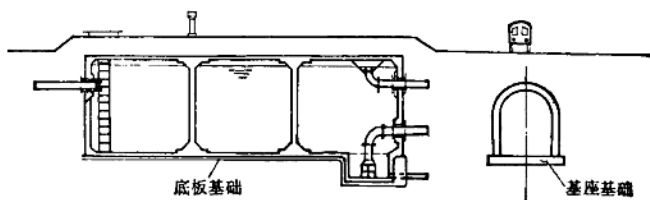


图 1-2 清水池和下水管道的地基

由于建筑结构所承受的各种作用通过基础传给地层，并向深处扩散，其影响则逐渐减弱，直至可以把其对地层的影响（如应力、变形）忽略不计，因而从工程建设的观点来分析，地基是受建筑物影响、具有一定深度和范围的地层。我们把直接承托基础的地层叫做

持力层，持力层以下的地层叫做下卧层（图1-1），承载力明显低于持力层的下卧层叫做软弱下卧层（或称软下卧层）。显然，地基和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；基础则属于建筑物，是建筑物的一部分。

基础的结构型式很多，通常把埋置深度不大，只须经过挖槽、排水等普通施工程序就可以建成的基础叫做浅基础，例如如图1-1所示水塔独立基础、图1-2所示水池筏板基础和管道条形基础均为浅基础；反之，当浅层土质不良，需将建筑物置于深处良好地层上时，须借助于特殊的施工方法建造的基础叫做深基础，图1-3所示的水塔桩基、取水头桩基、沉井泵站等都是用沉桩、沉井等特殊施工方法建造的深基础。若地层土质不良，也可采用人工处理地基土的办法来达到使用要求，这种经过处理的地层叫做人工地基。例如，用换土垫层、机械夯实、土桩挤密、堆载预压、电化学加固等方法处理过的土层即为人工地基，反之，无需处理就可以直接作为地基的原状地层，则叫做天然地基。天然地基比较经济，宜优先选用。

土力学是本学科的理论基础，研究土的特性及其受力后的变化规律，例如土的应力、变形、强度、稳定性、渗流等力学规律，以及土层与结构物相互作用的规律。这些规律都

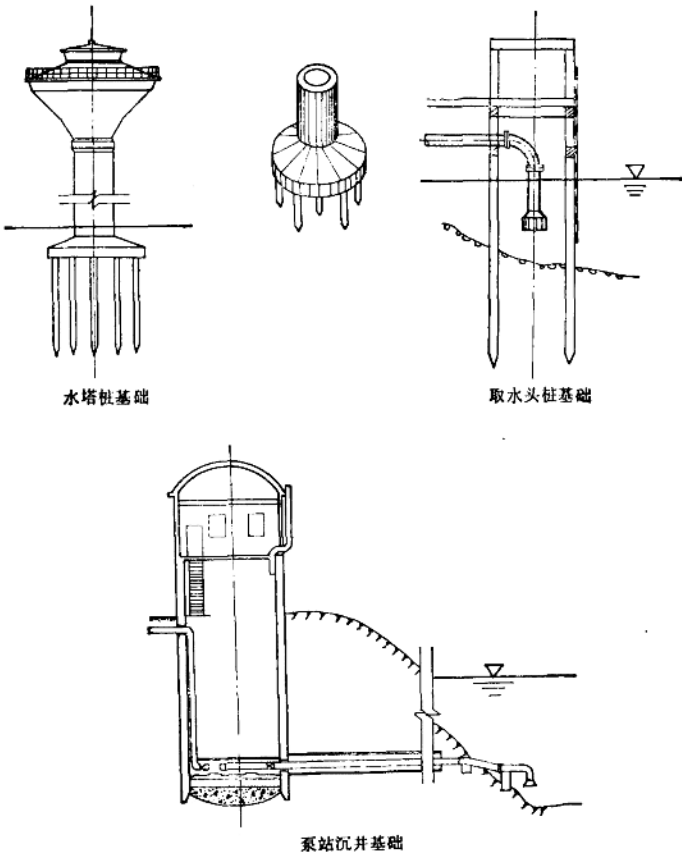


图 1-3 深基础——桩基础与沉井基础

是设计地基与基础的理论依据,结合工程地质资料,运用土力学原理,才能较好地解决地基、基础的工程问题。

二、给排水工程结构对地基与基础的要求

地基与基础属于地下隐蔽工程,是建筑物的根本,它的勘察、设计和施工质量直接关系到建筑物的安危。实践表明,一旦发生地基基础事故,补救并非容易。此外,基础工程费用与建筑物总造价的比例,视其复杂程度和设计、施工的合理与否,可变动于百分之几到几十之间,地基与基础在建筑工程中的重要性是显而易见的。

例如,著名的意大利比萨斜塔的倾斜就是因为地基变形不均匀而造成的。该塔高约55m,始建于1173年,当建至24m高时发现塔身倾斜而被迫停工,至1273年续建完工。该塔由于建造在不均匀的高压缩性土层上,致使北侧下沉1m有余,南侧下沉3m,沉降差高达1.8m,倾斜角达 5.8° 之多,目前该塔仍以每年1mm的沉降率继续下沉(图1-4)。

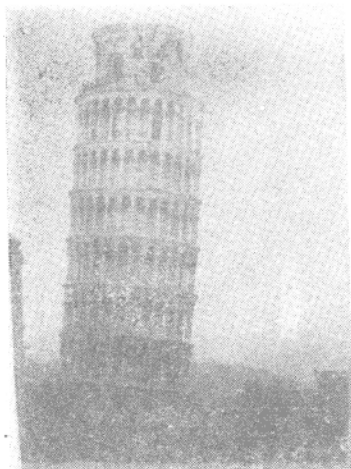


图 1-4 比萨斜塔——地基发生不均匀变形的典型建筑

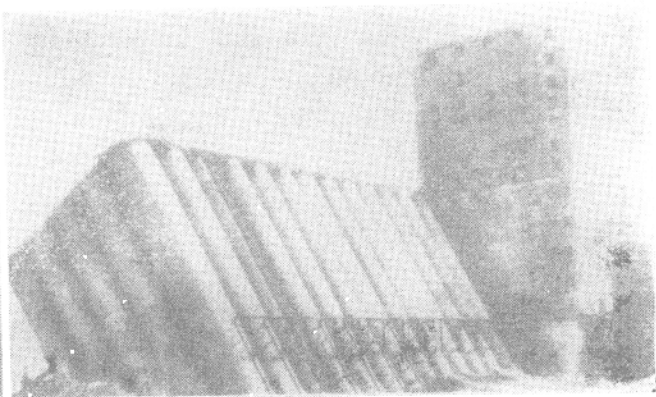


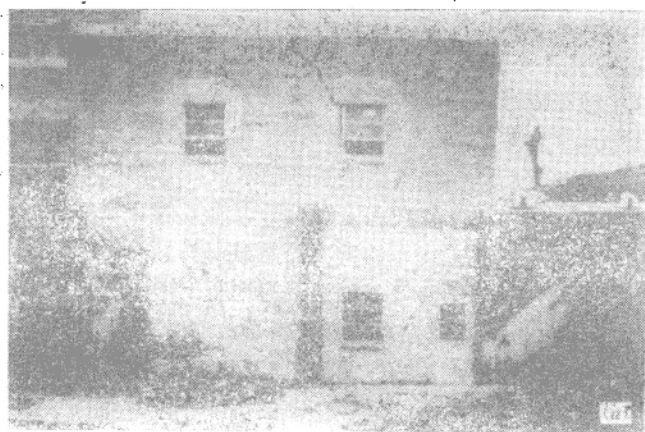
图 1-5 加拿大特朗斯康谷仓倾斜 27° ——地基失稳的典型事故

建于1913年的加拿大特朗斯康谷仓,由于设计前不了解地基内埋藏有厚达16m的软弱粘土层,建成装谷后的荷重超过了地基的承载能力,地基丧失了稳定性,致使谷仓西侧陷入土中8.8m,东侧抬高1.5m,仓身倾斜 27° (图1-5)。

在给排水工程结构中也发生过因地基基础破坏而引起构筑物开裂、漏水,以至倒塌的事故。例如美国亚拉巴马州净水厂,建造在一座小山旁,地基为残积土[●]。施工时打破出水口总管,致使容量为 226m^3 的水池排空,大量的水渗入地下,残积土遇水泡软,沉淀池底部发生浸蚀破坏,基础与地基之间多处出现洞穴,缺口宽1.5m~3.0m。建在残积土上的房屋墙体开裂。工厂开工一个月以后,过滤车间发生摇动并从屋顶开裂到墙根,建筑物一半发生严重倾斜,迫使工厂停止供水^[1](图1-6)。

南京上元门水厂沉淀池的地基中有一约15m厚的软弱淤泥质粉质粘土层,施工时未对该土层进行处理,建成投产后发生了高达380mm以上的沉降差,致使池壁严重开裂、漏水。

● 残积土见 §2-1。



(a)



(b)

图 1-6 美国亚拉巴马州净水厂地基浸水破坏

(a) 过滤建筑物开裂; (b) 沉淀池底部出现大洞穴

影响供水能力的正常发挥^[2]。

日本某市给水厂有一个半地下式预应力混凝土清水池，容量 6000m^3 ，竣工后，将池水排空进行清理时，发现底板隆起成弓形，中央部分凸起 $70\sim 80\text{mm}$ ，底板产生很多的纵横裂纹，该水池因龟裂漏水而不能使用。事故原因是设计人员没有考虑底板在水排空时，承受向上浮力作用的最不利荷载组合，从而对底板受力缺乏全面、正确的分析，底板上侧出现了配筋薄弱环节。于是在水排空后，作为基础的底板，承受不了地下水向上作用的巨大压力，迫使 200mm 厚的底板隆起、龟裂^[3]。

核物理专家恩·费米说：“一次失败甚至比一系列成功给人的教益要多。”理论分析与大量工程实践表明，为保证工程结构的正常运营，对地基及基础的基本要求是：

1. 地基与基础应有足够的承载力，地基土体具有足够的稳定性。
2. 地基不能产生过大的变形而影响结构的正常使用。

针对给水排水工程结构的特点，为保证其水密性，不渗漏，对地基变形和地下水的影晌应引起足够的重视。在一般情况下，给排水工程结构承受的荷载比工业与民用建筑的荷

载小很多,地基承载力的要求容易得到满足,但是给排水工程结构是一些储水、输水构筑物,结构的水密性显得十分重要,因而结构对地基的不均匀变形特别敏感;水池底板因不均匀沉降出现裂缝将导致水池漏水;水池与管道连接处是管道切断、开裂事故最多的部位。因此,要求大面积基础均匀沉降,要求不同结构的地基协调变形是给排水工程结构地基基础设计时应特别注意的问题。

此外,地基中地下水对给排水工程结构产生的巨大浮力不容忽视,应保证水池、管道等具有足够的抗浮能力。尽管钢筋混凝土水池的自重很大,但是当水池中的水被排空时,会出现浮力大于重力的情况。例如:1964年6月日本新潟大地震导致大面积砂土液化,地表喷水冒砂,水池漂浮上升。这不仅造成结构移位破坏,还造成管道弯折、底板开裂等事故。因此设计给排水工程结构的地基基础时,要充分了解地基中地下水位升降规律,既要防止漂池、漂管,又要保证水池底板在地下水压力作用下不产生裂缝。

三、本课程的特点与学习要求

本课程是一门综合性很强的专业课。它涉及到工程地质学、建筑力学、建筑结构、建筑材料、施工技术等有关学科,所以内容广泛,学习时应突出重点,兼顾全面;从给排水专业的要求出发,重视工程地质基本知识学习,学会阅读、使用工程地质勘察报告;掌握土中应力、变形、承载力、稳定性等土力学的基本原理,结合给排水工程结构及施工技术的有关要求,学会地基基础的设计。同时还要对土压力、填土压实、地下水、地基处理等知识予以足够的重视,以适应给排水专业的特殊需求。

由于地基土的种类繁多,土层分布又十分复杂,目前土力学的计算理论还很难和实际情况完全吻合,因此,学习本课程时,应重视工程地质勘探的成果,注意计算理论的适用条件,从实际出发,作到理论与实际相结合,切忌盲目照搬硬套。

思考题

1. 解释下列名词:

地基 基础 持力层 下卧层 浅基础 深基础 人工地基 天然地基 土力学

2. 给排水工程结构对地基基础设计有什么要求?

第二章 土的物理性质与地基土(岩)的分类

第一节 土的成因与组成

一、土的成因

地球上75%以上的陆地被散碎岩石的堆积物所覆盖,这种覆盖物就是工程上所研究的土。土是坚硬整体的岩石,经风化、剥蚀、搬运、沉积,形成含有固体颗粒、水和气体的松散集合体。

地壳外层的岩石一方面受到地球内部的各种内力(如热力、断层、褶曲、火山等)的影响,另一方面受到外界因素(如阳光辐射、水流、风力、冻融、氧化、生物作用等)的作用,时时在分解、破碎,有的残积在原地,有的随水流、冰川、烈风而转移,历时久远,便构成性质复杂的各种土层。岩石经不同的风化作用,形成土中不同粒径的固体颗粒。

1. 物理风化 在风霜雨雪的侵蚀、湿度和温度的变化、不均匀膨胀与收缩的作用下,岩石产生裂隙、崩解等机械破坏,这种现象即为物理风化。物理风化只改变颗粒的大小和形状,不改变矿物成分。物理风化生成粗颗粒,它们是组成碎石土、卵石土、砂土等粗粒土的主要成分。

2. 化学风化 岩石在水、空气以及有机体的化学作用或生物化学作用下引起的破坏过程称为化学风化。它使原来的矿物成分分解,生成颗粒极细、具有粘聚力的次生矿物^①。化学风化生成的细颗粒是粉土、粘性土等细粒土的主要成分。

3. 生物风化 由动、植物和人类活动对岩体、颗粒的破坏作用叫做生物风化。例如开山、打隧道等活动对岩石产生机械破坏,得到矿物成分不变的颗粒;植物的生长、腐蚀改变土中某些颗粒的成分,生成次生矿物和腐植质,是土中的次要成分。

根据岩石风化后搬运、沉积的条件不同,可将土分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、淤积土、冰积土、风积土。其沉积条件、分布规律、工程地质特征见表2-1。

二、土的特性

土与钢材、混凝土等连续介质相比,具有以下三个力学特性:

1. 高压缩性

在力学中以材料的弹性模量 E 来衡量其压缩变形性质的高低,土不是弹性体则以变形模量 E_0 衡量之,据试验测得:

$$\text{I级钢筋} \quad E_s = 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

① 化学作用用化学反映方程式表示,例如正长石 $[K(AlSi_3O_8)]$ 遇水后水解为次生矿物之一的高岭石 $[Al_2(Ai_2O_5)(OH)_2]$, 其化学反应方程式为:



沉积土分类简表

表 2-1

成因类型	堆积方式及条件	堆积物特征
残积土	岩石经风化作用而残留在原地的碎屑堆积物 (图2-1a)	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, 厚度在山顶部较薄, 低洼处较厚
坡积土	由雨水或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 (图2-1b)	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, 在斜坡较陡处厚度较薄, 坡脚地段较厚
洪积土	由暂时性洪流将山区或高地的大量风化碎屑物挟带至沟口或平缓地带堆积而成 (图2-2)	颗粒具有一定的分选性, 但往往在大颗粒间充填小颗粒, 碎块多呈亚角状。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
冲积土	由长期的地表水流搬运, 在河流的阶地、冲积平原、三角洲地带堆积而成 (图2-3)	颗粒在河流上游较粗, 向下游逐渐变细, 分选性和磨圆度均好, 层理清楚, 厚度较稳定
淤积土	在静水或缓慢的水流中沉积, 并伴有生物化学作用而成	沉积物以粉粒、粘粒为主, 且含有多量的有机质或盐类, 一般土质松软, 有时粉砂和粘性土呈交互层, 具有清晰的薄层理
冰积土	由冰川或冰川融化后的冰下水搬运堆积而成	以巨大块石、碎石、砂、粘性土混合组成, 一般分选性极差, 无层理, 但为冰水沉积时, 常具斜层理。颗粒一般具棱角, 巨大块石上常有冰川擦痕
风积土	由干燥气候条件下, 碎屑物被风吹扬, 降落堆积而成	主要由尘土或砂组成, 一般颗粒较均匀, 质纯, 孔隙大, 结构松散

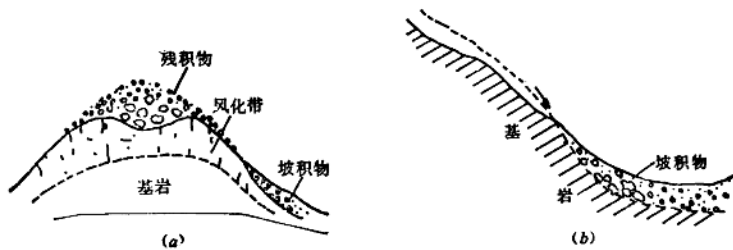


图 2-1 残积土与坡积土

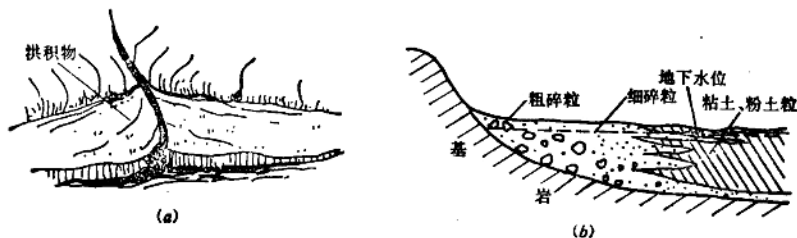


图 2-2 洪积土
(a) 洪积扇; (b) 洪积层剖面

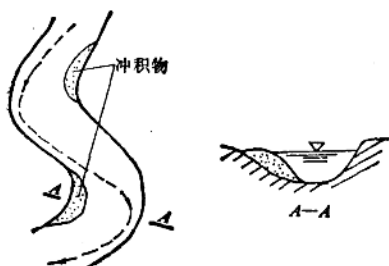


图 2-3 冲积土

C20混凝土 $E_c = 2.55 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

饱和细砂土 $E_0 = 8 \sim 16 \text{ N/mm}^2$

以上数据说明钢筋、混凝土的模量比土大好几个数量级，可见土的压缩性远远高于钢筋和混凝土。这是因为土是一种松散的集合体，受压后孔隙显著减小，而钢筋属于晶体，混凝土属于胶结体，不存在孔隙被压缩的条件。

2. 强渗透性

由于土中颗粒间存在孔隙，因此土的渗透性比其他材料大，特别是粗粒土具有很强的渗透性。

土的压缩性高低和渗透性强弱是影响地基变形的两个重要因素，前者决定地基最终变形量的大小，后者决定基础沉降的快慢程度（即沉降与时间的关系）。

3. 低承载力

土是一种松散颗粒的集合体，颗粒之间具有较大的相对移动性，这说明土的抗剪强度很差，而土体的承载力实质上取决于土的抗剪强度，故土的承载力较低。

三、土的组成

在一般情况下土是由固体颗粒、液体水和气体三部分组成，即三相组成。特殊情况下则为二相组成，例如只有颗粒和空气的干粘土、干砂土，只有颗粒和水的饱和粘土、饱和砂土。土的组成对土的工程性质影响较大，例如干粘土，性坚硬；干砂土，性松散；饱和松散粉细砂受振动则液化；饱和粘土受压变形需较长时间才能稳定。可见，研究土的工程性质，应先研究土的三相组成。

1. 土的固体颗粒

土中的固体颗粒构成土体的骨架，其成分、形状、大小是决定土的工程性质的主要因素。

(1) 土粒的矿物成分

土中颗粒的矿物成分包括原生矿物、次生矿物和腐植质三部分（图2-4）。原生矿物是岩石经物理风化形成的矿物成分，其性质比较稳定；次生矿物是岩石经化学风化而产生

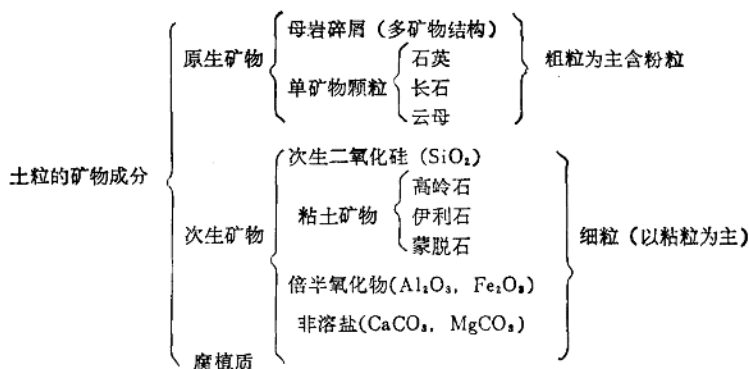


图 2-4 土粒的矿物成分简图

的新的矿物成分。若土粒中所含矿物成分不同,则工程性质各异。如粘粒中蒙脱石含量高,则遇水就会剧烈膨胀,失水又会急骤收缩,给工程建筑带来不利影响。

(2) 粒径与粒组

自然界中的土都是由大小不同的土粒组成,土粒的大小称为粒径(例如粗粒土以通过筛孔的大小来测定)。试验表明,粒径由大变小、土的工程性质将随之变化,例如透水性由强变弱,土的粘性由无到有,由弱变强。为了便于分析和利用土的工程性质解决建筑中的问题。我们将性质相近的土粒划归成的组别称为粒组。工程上划分的六个粒组如图2-5所示,各粒组的工程特性见表2-2。

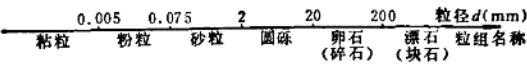


图 2-5 土的粒组分布图

粒 组 与 工 程 特 性 表 2-2

粒 组 名 称		分界粒径(mm)	一 般 工 程 特 性
漂石 (块石)		>200	透水性大, 无粘性, 无毛细水, 不能保持水分
卵石 (碎石)		200~20	
圆砾 (角砾)		20~2	透水性大, 无粘性, 无毛细水
砂 粒	粗	2~0.5	易透水, 无粘性, 干燥时不收缩, 呈松散状态, 不表现可塑性, 压缩性小, 毛细水上升高度不大
	中	0.5~0.25	
	细	0.25~0.075	
粉 粒	粗	0.075~0.01	透水性小, 湿时稍有粘性, 干燥时稍有收缩, 毛细水上升高度较大, 极易出现冻胀现象
	细	0.01~0.005	
粘 粒		0.005~0.002	几乎不透水, 结合水作用显著, 潮湿时呈可塑性, 粘性大, 遇水膨胀, 干燥时收缩显著, 压缩性大
胶 粒		<0.002	

粒组中圆砾、卵石、漂石均呈一定的磨圆形状,角砾、碎石、块石都带有棱角。

(3) 粒径级配

若土中所含各粒组的相对含量不同,则土的工程性质各异,为此,工程上常以土中各粒组的相对含量(各粒组占土粒总量的百分数)表示土中颗粒的组成情况。粒组的相对含量叫做粒径级配。粒径级配是确定土的名称和选用地基填方土料的重要依据。

确定粒组相对含量的方法称为粒径分析法。对于粒径大于0.075mm的采用筛分法❶;粒径小于0.075mm的采用比重计法(即水分法,详见《土工试验规程》)。

粒径级配有两种表示方法:一种为表格表示法,例如表2-3所示即为三种土样的粒径级配表;第二种为粒径级配累积曲线表示法,图2-6所示即为表2-3中三种土样的粒径级配

❶ 筛分法是将所要分析的风干分散的代表性土样放进一套筛子的顶部,当筛子振动时,大小不同的土粒被筛分开,粒径大于20mm的颗粒留在最上边的筛子里,粒径小于0.075mm的颗粒通过各层筛孔,最后落在底盘里,计算筛余量在总土量中所占的百分比即为该土样的粒径级配。常用的细筛每套六个,筛孔分别为20、2、0.5、0.25、0.1和0.075mm,另外还有顶盖与底盘各一个(规范按0.075mm计,实际为0.074mm)。

累积曲线。

粒 径 级 配 表 表 2-3

相对 含量(%) 粒径 (mm)	土 样	a	b	c
<0.001	—	1.5	11.0	—
0.001~0.005	—	5.2	17.9	—
0.005~0.01	—	4.2	11.1	—
0.01~0.05	—	8.1	37.6	—
0.05~0.075	7.0	3.2	12.0	—
0.075~0.25	28.0	6.3	10.4	—
0.25~0.5	41.5	6.2	—	—
0.5~1.0	14.4	8.0	—	—
1~2	6.0	12.3	—	—
2~5	3.1	20.0	—	—
5~10	—	18.7	—	—
>10	—	6.3	—	—
Σ	100%	100%	100%	100%

粒径级配累积结果表 表 2-4

累积 含量(%) 粒径 (mm)	土 样	a	b	c
≤0.001	—	1.5	11.0	—
≤0.005	—	6.7	28.9	—
≤0.01	—	10.9	40.0	—
≤0.05	—	19.0	77.6	—
≤0.075	7.0	22.2	89.6	—
≤0.25	35.0	28.5	100	—
≤0.5	76.5	34.7	—	—
≤1.0	90.9	42.7	—	—
≤2	96.9	55.0	—	—
≤5	100	75.0	—	—
≤10	—	93.7	—	—

粒径级配累积曲线图的纵坐标表示小于某粒径的土粒占土总量的百分比，对数横坐标则表示粒径的大小（因为只有用对数坐标才能在图上将极小的粒径表示出来）。按照从小粒径向大粒径累加的原则，表2-4列出了累积结果。将表2-4中粒径与累积含量一一对应绘制在半对数坐标纸上即得a、b、c三种土样的粒径级配累积曲线（图2-6）。粒径级配累积曲线能直观地反映出级配的良好程度。如曲线平缓，则表示粒径大小相差悬殊，土粒不均匀，即级配良好，级配良好的土，粗粒间的孔隙为细粒所填充，压实时容易获得较大的密实度。这样的土承载力高，压缩性低，适于做地基填方的土料；如曲线较陡，则表示粒径相差不多，土粒均匀，即级配不良，不易获得较大的密实度，但透水性好。

在工程上常用不均匀系数 K_u 来衡量粒径级配的不均匀程度，即

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

式中 d_{60} ——土中小于某粒径的土重百分比为60%时相应的粒径，又称限定粒径；

d_{10} ——土中小于某粒径的土重百分比为10%时相应的粒径，又称有效粒径。

不均匀系数 K_u 愈大，说明曲线愈平缓，土粒愈不均匀。工程中判断级配良好的标准是：

$$\begin{aligned} K_u < 5 & \quad \text{土粒均匀，级配不良；} \\ 5 \leq K_u \leq 10 & \quad \text{土粒中等均匀；} \\ K_u > 10 & \quad \text{土粒不均匀，级配良好。} \end{aligned}$$

2. 土中水

在自然条件下，存在于土中的液态水可分为结合水和自由水。

(1) 结合水

结合水是指受电分子引力吸附于土粒表面的土中水。这种电分子引力高达几千到几万

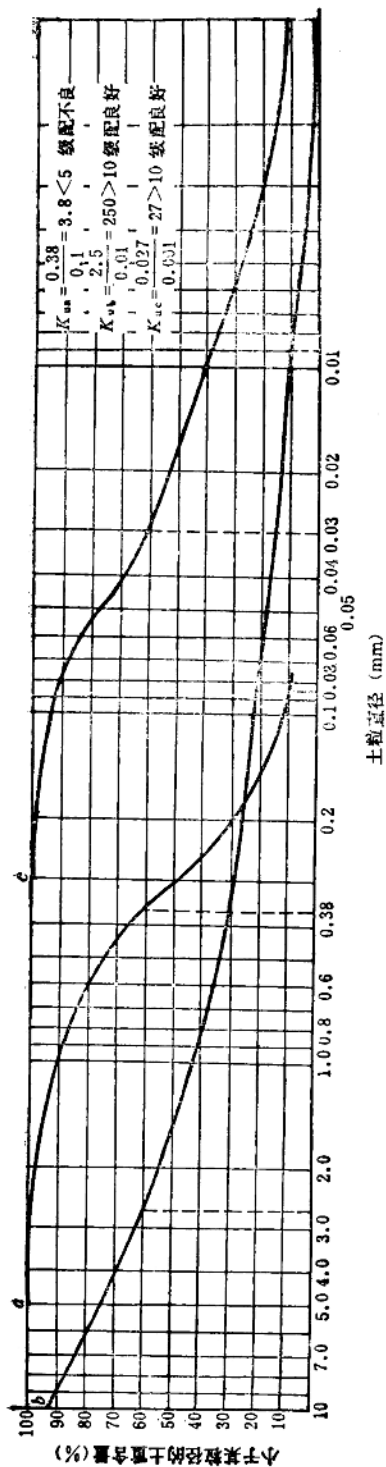


图 2-6 粒径级配累积

个大气压，使水分子和土粒表面牢固地粘结在一起。例如粘粒表面带负电，吸附极性水分子，可以从图2-7所示电渗电泳试验得到证实。

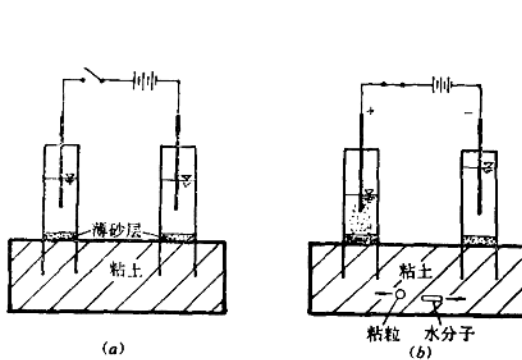


图 2-7 电渗电泳试验示意图

(a) 通电前；(b) 通电后，正极水变湿，负极水位上升

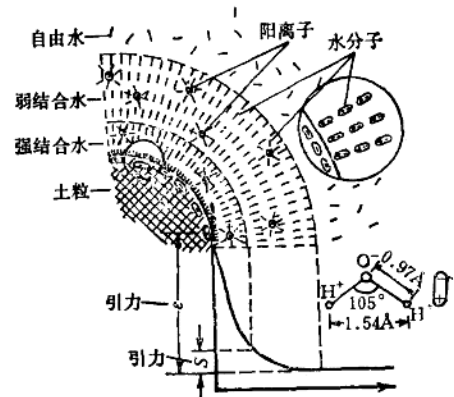


图 2-8 结合水分子定向排列及其所受电子引力变化简图

由图2-8可知，水分子距土粒表面愈远，电分子引力愈小，水分子与土粒表面结合的紧密程度愈差，为此，将结合水分为强结合水（吸着水）与弱结合水（薄膜水）两类。

1) 强结合水（吸着水）

强结合水是指紧靠土粒表面的结合水，其厚度只有几个水分子厚（ $<0.003\mu\text{m}$ ），其性质接近于固体，对土的工程性质影响小。强结合水的冰点为 -78°C ，在 105°C 的温度下才能被蒸发，相对质量密度大于1，不传递静水压力。只含强结合水的粘性土呈坚硬固体状态，只含强结合水的砂土呈散粒状态。

2) 弱结合水（薄膜水）

弱结合水是紧靠于强结合水的外围，仍然受土粒表面电荷吸引的一层水膜，其厚度 $<0.5\mu\text{m}$ 。弱结合水仍不传递静水压力，并呈粘滞状态，随着距土粒表面愈远，电分子引力愈小，从内到外的粘滞性是逐渐降低的，因此，当粘性土中刚出现这种水时呈半固体状态，当其含量接近结合水最大值时，土就趋于流动状态，而含有较多弱结合水的粘性土具有塑性，弱结合水对粘性土的工程性质影响较大。

(2) 自由水

自由水是存在于土粒表面电场影响范围以外的水，它的性质与普通水一样。按土中自由水移动所受的作用力可将其分为重力水和毛细水。

1) 重力水

重力水是在重力（或压力差）作用下能流动的自由水，它存在于地下水位以下的透水层中，能使浸没其中的颗粒或构筑物受到浮力作用。

2) 毛细水

毛细水是受到水与空气交界面处表面张力作用的自由水，一般存在于地下水位以上的透水土层中。按毛细水与地下水面是否联系可分为毛细悬挂水（与地下水无直接联系）和毛细上升水（与地下水相连）两种。在工程中要特别注意毛细上升水上升的高度（以粉土中毛细水上升高度最高），因为毛细水的上升对建筑物地下部分的防潮措施和地基土的



GGB2159258

浸湿有重要影响。在寒冷地区还要注意基础因毛细水上升引起的冻胀破坏。

3. 土中气体

土中的气体存在于土的孔隙中未被水所占据的部位。在粗粒土中常见到与大气相联通的空气，它对土的力学性质无影响。在细粒土中则常存在与大气隔绝的封闭气泡中，使土在外力作用下的弹性变形增加，透水性减小。

第二节 土的物理性质指标

土是由固体颗粒、水和气体三部分组成的。这三部分之间的比例不同，反映着土体所处的状态不同，如稍湿与饱和、松散与密实、坚硬与软塑。而土的物理状态对于评定土的力学性质，特别是土的承载力和变形性质关系极大，因此，为了研究土的物理状态，就要掌握土的组成部分之间的比例关系。表示土体三相组成之间关系的指标被称为土的物理性质指标。

为了便于理解和计算，我们采用理想的三相简图（图2-9）来直观地表示土中三部分的质量与体积，其中质量 m 和体积 V 的下标含义是：s代表颗粒，w代表水，a代表空气，v代表孔隙。气体的质量比其它两部分质量小很多，可忽略不计，即 $m_a=0$ ；水的密度 $\rho_w=1\text{t/m}^3$ ，则有数量关系 $V_w=m_w$ 。

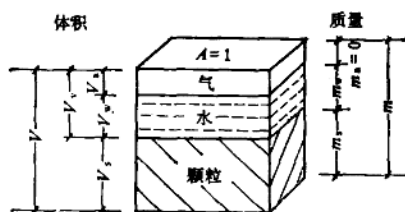


图 2-9 土的三相组成示意图

m —土的总质量； m_s —土中颗粒质量； m_w —土中水的质量；
 V —土的总体积； V_s —土中颗粒体积； V_w —土中水的体积；
 V_a —土中空气体积； V_v —土中孔隙体积

一、基本物理指标与计算指标

土的基本物理指标是指直接用实验方法测定的实验指标，计有：

1. 土的质量密度 ρ 和重力密度 γ

单位体积土的质量称为土的质量密度，简称土的密度，用符号 ρ 表示。单位体积土所受的重力称为土的重力密度，简称土的重度，用符号 γ 表示。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{t/m}^3) \quad (2-2)$$

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (2-3)$$

式中 G ——土所受的重力（kN）。

且 $G=mg$ 。则有：

$$\gamma = \rho g \quad (2-4)$$