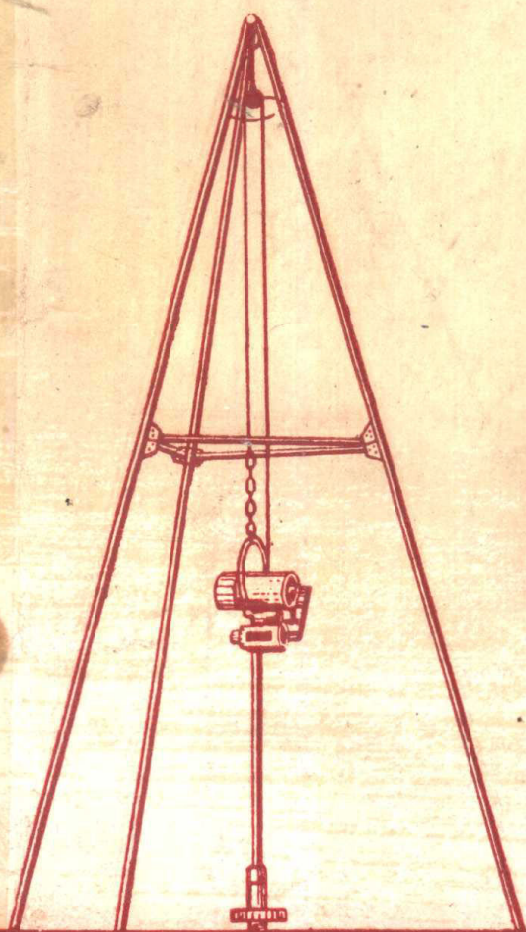


建筑工程勘察基本知识丛书

土力学基本知识

王惠亭編



中国工业出版社

建筑工程勘察基本知识丛书

土力学基本知识

王惠亭編

中国工业出版社

本书系建筑工程勘察基本知识丛书之一。内容主要讲述土的物理与力学特性——土的成分、各相间的指标、工程分类、透水性、抗剪强度等，并介绍了各种荷载作用下土中应力的分布情况，最后以最新的理论（即按极限状态计算地基）论述了地基土的强度与变形以及在实际中的应用。

本书可供勘察设计部门的中初级技术人员、行政干部、勘探工人阅读。

建筑工程勘察基本知识丛书

土力学基本知识

王惠亭编

*

中国工业出版社建筑图书编辑室编辑（北京佟麟阁路丙10号）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张31·字数79,000

1962年10月北京第一版·1962年10月北京第一次印刷

印数0001—3,096·定价（10—6）0.51元

统一书号：15165·1575（建工-217）

目 录

前言.....	5
第一章 緒 論.....	7
1-1 土力学研究的对象和它的任务	7
1-2 土力学发展简介	8
第二章 土的物理与力学特性	11
2-1 土的成分	11
2-2 土各相的指标	16
2-3 土物理状态的简单特征	21
2-4 土的工程分类	24
2-5 土的透水性	29
2-6 土的压缩——压力与孔隙比变化的关系	31
2-7 土的抗剪强度	36
第三章 土中应力的分布	40
3-1 概述	40
3-2 集中荷载作用下土中应力的分布	41
3-3 均布荷载作用下土中应力的分布	47
3-4 三角形荷载(条形基础)作用下土中应力的分布	58
3-5 基础平面的形状和大小对应力分布的影响	60
3-6 基底应力的相互影响	61
3-7 基础底部与土层接触面上的应力分布	64
3-8 土自重所引起的应力分布	66
第四章 土的极限平衡理论及其应用	67
4-1 极限平衡的概念	67
4-2 地基土极限平衡区的发展	68
4-3 按稳定性计算地基	75
4-4 应用规范确定土的計算强度	77

4-5 挡土墙土压力的理论	85
第五章 建筑物全部下沉量的计算	88
5-1 按变形计算地基的概念	88
5-2 附加压力	89
5-3 受压层厚度	91
5-4 建筑物全部下沉量的计算方法	92
5-5 基础下沉的相互影响	96
5-6 地基变形的极限值	98

前 言

应用土力学对土进行分析研究时，首先要勘探队去现场采取土試料，所以勘探可說是对土进行分析研究的尖兵。采取土試料能否做到土結構不被破坏或破坏程度减到最輕微，这是保証土力学研究成果的最重要問題之一。如果我們在野外取得的土試料不能最大限度地維持原状結構，这样，就很难通过土力学对土作出正确的評价。

目前在土力学中对土性質的研究，采用野外分析試驗的方法已被重視。因此，土力学的理論便直接指导着野外勘探工作。土力学与勘探的关系既如此密切，那么，从事勘探的工人以及有关人員也就有必要掌握一些土力学方面的基本知識。

土力学是一門計算的科学，但在具体应用时一般的計算方法都是比較简单的，只要具有初中文化程度就能进行具体的計算。例如土力学中很重要的土中应力分布問題，基本上是通过这样一个简单的公式来計算的： $\sigma = k p$ ，这个公式只要具有初中代数知識就很容易运用。当然要了解公式的来源，那是一件比較困难的事。所以本書主要是通过简单的計算方法來說明土力学中一般实用的主要問題和基本知識。

本書共分五章，第一章緒論，指出土力学研究的对象及其任务，并简单地介紹一些土力学的发展情况。其中所介紹的祖国古代的伟大工程，可使讀者了解到祖国在很早的时候，对土力学地基基础方面已具有很丰富的知識。同时，还叙述了解放后十多年来，在中国共产党领导下，这門科学的巨大发展，显示了社会主义制度的无比优越性。第二章叙述土的物理与力学特性，这是全書最重要內容之一，使讀者对土的重要性質有所認識。第三章叙

述土中应力的分布，使讀者了解土中应力分布的基本知識。第四章和第五章以最新的理論（即按极限状态計算）論述地基土的强度与变形以及在实际中的应用。在全書論述过程中引用了苏联1955年11月頒布实行的“房屋和工业結構物天然地基設計标准及技术规范”（简称规范127-55）。这是目前世界上最先进的設計地基的技术规范。

由于笔者学識淺陋，不妥之处，在所难免，希望讀者指正。

張揚軍、譚天增等同志對本書的初稿提出了寶貴意見，并承李承烈同志繪制图表，均在此致謝。

王 惠 亭 于北京

第一章 緒 論

1-1 土力學研究的對象和它的任務

大家知道各類建築物都有它們各自的基礎，這些基礎都建築在岩土上。為了使建築物安全地建立在岩土上，我們就必須對岩土的性質進行詳細的研究。

上面所指的岩土，我們可以把它分成兩類：

一、整體的岩石和半岩石（參看第二章）

它們的顆粒之間堅固地膠結着，形成整體的塊狀。

二、松散的岩土，通常稱為土

它們的顆粒之間不是互相膠結的而是松散的。例如大家所熟悉的砂，砂粒之間沒有膠結起來，而是互相疏松分散的；或者某些土的顆粒也被粘結在一起，但是粘結的強度與岩石類顆粒之間的膠結程度相比要小很多。例如粘性土的顆粒就是這樣粘結着的，可是它不是岩石，而是屬於土範圍以內的。

土力學研究的對象，就是屬於第二類的土。

土力學有如下所述的任務：

一、研究壓力與土孔隙比變化之間的关系

天然松散的土，顆粒之間存在着孔隙，當它受到建築物的荷載以後，就會發生相應的壓縮。研究壓力與孔隙比變化之間的壓縮关系是土力學重要任務之一。

二、研究土的滲透性

這是研究水在土孔隙中滲流的規律。

三、研究土的抗剪強度

土在外力作用下，內部就產生一種應力，使土趨向於剪切破壞。但是土本身具有一種抵抗這個應力的強度，通常稱為抗剪強

度。由此可知研究土的抗剪强度具有十分重大的意义。

四、研究土中应力分布的情况

建筑物的全部荷载通过自己的基础传送到地基中去，然而地基中又如何来分别承担呢？或者说，土中的应力是如何分布的呢？这也是土力学中重要课题之一。

五、研究土的强度与稳定性以及挡土墙的土压力

土的强度指的是抗剪强度。所谓土的稳定性是指土因建筑物的荷载所产生的应力小于土的强度。如果土中应力等于土的抗剪强度，土就处在极限平衡状态。如果土中应力超过土的抗剪强度，土就遭到破坏，这样就不稳定了。挡土墙也是极限平衡问题之一，有关这些问题都将在第四章中详细研究。

六、研究土的变形与建筑物下沉问题

土颗粒之间是具有孔隙的，当建筑物的荷载传到土中后，土的孔隙就要被压缩，以致建筑物发生下沉。下沉量的大小，以及建筑物范围内下沉量是否均匀，这些问题都是建筑物设计中的关键问题。

有关上述的问题，我们将在本书以后章节中分别进行研究。

1-2 土力学发展简介

人类从事建筑事业已有数千年的历史。在我国古代，劳动人民利用土作为建筑材料，以及把它作为建筑物的地基等方面都有突出的贡献。

远在秦朝建成的万里长城，工程的巨大是闻名世界的。万里长城从山海关起，经河北、内蒙古自治区、山西、陕西、宁夏回族自治区一直到甘肃的嘉峪关止，实际长度超过万里。城墙大都建造在高山上，最高的地方高出海面四千多米，城墙平均高达三丈，基址宽为二丈五尺。所用材料除了石灰、泥土以外，多是几千斤重的大石块和几十斤重的大砖块。由此可见，远在二千多年以前，我国人民已经直接利用土来建造城墙，同时又能将土烧成砖块作为优良的建筑材料。如果将这个巨大的工程再作进一步的

考察，可以發現，在那个時候，我們的祖先已經具有擋土牆土壓力的知識。

我國自古以來還有很多偉大的建築。例如秦朝時候在咸陽建造的阿房宮，當時秦始皇驅使了七十萬勞動人民，建造宮殿145處，占地三百餘里。其中已完成的阿房宮前殿，東西有五百步，南北有五十丈，上面可以坐一萬人，下面可以樹立五丈高的大旗。

還有，現在橫跨在河北省趙縣洺水上的趙州橋，亦是我國古代的一個偉大建築。趙州橋是距今一千三百多年以前隋朝時代李春設計建造的。它是一座單孔拱橋，並在大拱的兩頭各背着兩個小拱。全橋長約十二丈二尺。

我國古代還有許多著名的建築物，如塔、廟宇之類，不再一一介紹。所有這些建築物不但都很高大，並且傳到地基上的荷載也很大。其中有很多建築物都是直接建造在天然地基上，並且已經歷了數百年，甚至數千年以上，一直保存到今天。這是很好的物證，證明我國勞動人民對土作為建築物的地基具有很豐富的經驗。

不僅如此，我國勞動人民還具有改良土的性質作為建築物人工地基的豐富經驗。首都的天安門就是建築在城樓上的，城樓是人工用土填起來的。這麼高的填土，居然能使高大的天安門巍然獨立其上，並已安全地保存了數百年之久。由此可以推知，當時填土的夯實方法是很有成效的，如果對土的性質沒有豐富的知識，那是很不容易做到的。

我國勞動人民掌握了土的性質，還表現在我國所特有的灰土基礎方面。它不但是作為過去時代很多建築物的基礎，並且近代五層以下的樓房仍不失為良好的基礎。

近百年以來，我國處在半封建半殖民地的地位，人民吃盡了封建統治階級、官僚資產階級與帝國主義的苦頭，在土力學地基基礎方面的進展顯得十分落后。在全國解放以前，幾乎沒有什麼完整的勘探試驗單位，即使有些土工試驗所，而其工作也很難展開。對土力學理論的研究更是鳳毛麟角，幾乎可說是空白點。國

內比較重大的工程的勘察、設計或施工，差不多全为資本主义国家的私商所包办。

全国解放以后，在中国共产党领导下，祖国开始了規模巨大的社会主义建設。在短短的十多年中，由于党的正确領導，全体科学技术人員的辛勤努力，以及苏联和各兄弟国家的大力援助，我国不但掌握了这門科学的知識，很好地为社会主义建設服务，并且在某些方面还作出了具有世界意义的巨大貢獻。

解放以来，勘察队伍从无到有，从小到大，今天在全国范围内，不論中央各工业部或地方各省、市和自治区的設計部門都有各自完整的地質勘探和土工試驗队伍，陣容空前壮大。

勘探試驗方面使用的工具和仪器都有所創制，例如根据民間探墓用的洛阳錐发展起来的一人輕便鑽和薄壁自由活塞取土器等。

在地球物理勘察方面，电探法已逐漸地被采用。地震勘探和放射性射綫勘探方法亦已开始采用。

对土特性方面的研究也有很大的进展。例如陈宗基从流变观点来研究粘土的特性，提出了粘土結構的假說，并以此发展粘土地基的固結理論。对我国黃土特性的研究也有显著的成就。

在地基基础方面的成就也很出色，聞名世界的武汉长江大桥是我国万里长江上的第一座大桥。桥基地質情况非常复杂，岩层位于深达40米的水下，其中有具有溶洞的石灰岩、破碎的炭質頁岩、軟弱的破碎泥灰岩等。岩面不平，最大相差达5米。面临这样困难的情况，全体建桥員工在党的正确领导下，在苏联专家的热情帮助下，解放思想，鼓足干劲，終於創造出一种管柱結構基础，因而在短短的二年零一个月的時間內便建成了这座大桥，在世界桥梁建筑史上揭开了新的一頁。

1959年国庆十周年前夕在北京新建的巨大工程都是近代第一流的高樓大厦。它們的地基基础都是采用世界上最先进的极限状态的理論来設計的。并在这些建筑物里設置了沉降观测点，为今后进一步研究土力学創造了有利的条件。

我国建筑科学研究院在电动砂化加固、电解重合法、铝化法的基础上研究出一种加固软粘土的新方法。这个新方法曾在革命历史博物馆和北京车站的部分地基以及铁路的路基上使用过，效果良好。

在国外，尤其是苏联，土力学这门科学也有很大的发展。1773年库伦在法国发表了第一个土力学的理论——计算挡土墙土压力的极限平衡的理论。1856年朗金在英国发展了极限平衡的理论。1889年俄国工程师B. И. 库尔裘莫夫完成了著名的地基稳定的实验室研究。1916年П. А. 米那也夫第一次在理论上和实验上证明了弹性理论可以应用于散体中应力和变形的计算，从而奠定了土力学成为一门科学的基础。十月革命以后，苏联的学者对土力学的发展更有杰出的贡献。例如H. M. 格尔谢凡诺夫的名著“土体动力学基础”；B. B. 索柯洛夫斯基对土极限应力状态问题的数学解法；Ю. М. 阿别列夫和H. Я. 杰尼索夫等关于黄土问题所取得的巨大成绩；M. И. 苏姆金和H. A. 崔托维奇关于冻土性质的研究。苏联目前各科学技术部门已开始应用放射性同位素来进行科学研究，并已应用于生产中。可以预言，在土力学的科学研究中，这个方法将取得极重要的地位。美国在1925~1929年的时候，土力学才有了发展。1925年泰沙基出版了一本土力学的著作。

总之，土力学形成一门独立的科学还只是最近约三十年的事，所以它还是一门很年青的科学。随着社会主义建设高潮的到来，这门科学也必将得到飞跃的发展。

第二章 土的物理与力学特性

2-1 土的成分

土既然是土力学研究的对象，那末，土究竟是什么东西构成

的呢？构成土的成分有三种，即一、固体矿物颗粒。它是岩石破碎后的产物；二、水。它存在于土颗粒之间的孔隙中，有的土只是部分的孔隙充满了水，有的全部充满了水；三、气体。它存在于孔隙中。兹分别说明如后。

一、**固体矿物颗粒**：颗粒的大小变化范围很大，从几十和几百厘米的粗碎屑到几千分之一毫米的微小颗粒。在这样大的变化幅度下，对我们所要研究的土的某些性质将发生显著的影响。必须注意，颗粒大小虽然是影响土性质的重要因素，但不是唯一因素。我们为了研究不同颗粒的形成和性质，兹根据颗粒的大小将它们分成砂土颗粒、粘土颗粒和粉土颗粒三部分（详见本章第2-4节土的工程分类）来说明：

（一）**砂土颗粒**：粒径小于0.05毫米的固体矿物颗粒称为砂土颗粒。大气气温随着各个季节变化是很大的；在大陆性气候地区，一昼夜之间气温的变化也很大。岩石受到温度变化的影响，就会热胀冷缩，发生破碎。水在岩石的破碎裂缝里流动，在冬季冻结成冰，体积膨胀，使岩石的破碎更厉害，再经过流水的冲刷，并把它搬运到其他地方去，这样，岩石便形成了各种大小不同的固体颗粒。岩石经过上述的各种机械破碎结果所形成的矿物颗粒的化学成分一般与母岩的化学成分是一致的。它们的主要成分为石英、长石、海绿石和云母等。砂类土就是这种矿物颗粒组成的。

砂土颗粒的形状各不相同，有浑圆的、尖角的和棱角的等。纯净的颗粒没有粘结性，透水性较好，其中水的毛细管上升高度不大，压缩性较小，并且稳定时间也很快，摩擦力较大。但是在评定它们的性质时，必须注意到在颗粒粒度相同时，上述性质与矿物的属性有关。例如，当粒度相同时，云母的孔隙率最大，而浑圆石英的孔隙率最小，但浑圆石英的透水性最大，而云母的透水性最小。云母的毛细管上升高度最高，压缩性也最大。同时尖角石英的摩擦力最大，而云母的摩擦力最小。

由此可见，矿物颗粒的形状以及是否含有云母，对土的性质有很大的影响，因此，我们在野外调查时，必须把它们详细记录下来。

来。

(二) 粘土顆粒: 粒径小于 0.005 毫米的固体矿物顆粒, 称为粘土顆粒。粘土顆粒是岩石經過化学风化和生物风化等作用后所形成的。所謂化学风化和生物风化都是对岩石的一种破坏作用, 这种作用不但是使岩石破碎, 并且改变母岩的化学成分。通常粘土顆粒是长石、云母和綠泥石等的原生矿物經過化学变化后的产物, 或称为从生矿物。最为普通的粘土矿物質有三类: 高岭土、伊利土和蒙脫土。

粘土顆粒具有鱗片状或偶尔呈針状。它們的厚度以蒙脫土为最小, 伊利土和高岭土的厚度比較大。高岭土的膨胀性比蒙脫土小。高岭土与水結合的能力远弱于蒙脫土, 因此, 高岭土粘土的透水性較大, 而蒙脫土粘土的透水性較小。伊利土的性質介于高岭土和蒙脫土两者之間。

粘土顆粒的表面积十分发达, 如土中含有粘土顆粒时, 土顆粒的表面积大大地增加了, 而顆粒表面是各种对粘性土的性質和状态有影响的发生場所。由此可見, 粘土顆粒对土的工程性質所起的重大影响。

(三) 粉土顆粒: 粉土顆粒是介于砂土和粘土顆粒之間的多様矿物 (粒径 0.05~0.005 毫米)。如按矿物組成來說, 最粗的粉土顆粒与砂土顆粒没有什么区别; 最細的粉土顆粒大多数都是从生矿物, 原生矿物很少。所以粉土顆粒的矿物成分不均匀, 同时含有原生和从生矿物。

粉土顆粒的形状近于圓形。它的內摩擦力不大, 但在浸湿时尙具有一定的粘性。由于它的顆粒极小, 因此很易被水冲刷和带走。在粘性土中的粉土顆粒使土很易活动。这种土的承载力很小, 当其充滿水时却为最弱的天然地基之一。如在土中含有 50% 以上的粉土顆粒, 土的工程性質将大大变坏。

由于土顆粒的不同沉积过程和沉积后所处的不同环境与条件, 土的结构亦就不同。土顆粒成分和相对排列的規律性以及顆粒間联結性質的規律性, 統称为土的结构。

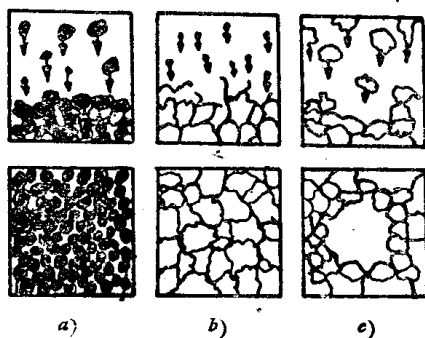


图 2-1 土的结构

a—单粒结构；b—蜂窝结构；c—绒团结构

土的结构可分为三类：

(一) 单粒结构。如砂土颗粒在沉积过程中，由于颗粒本身的重量大于彼此间的摩擦力与吸引力，便自由地和稳定地沉积起来，互相交错重迭，便形成单粒结构（图 2-1 a）。

(二) 蜂窝结构。如粘土颗粒的粒径较小，本身重量亦较轻，在水中下沉时，发生分子的吸引作用，与已沉积的颗粒接触时，在接触点上由于被强有力的水的薄膜吸住，不能再继续下沉至稳定的位置，因而形成蜂窝结构（图 2-1 b）。

(三) 绒团结构。如土颗粒的粒径更小时，其本身重量不能使之下沉，而呈悬浮状态。在水中带有同性电荷，彼此排斥，各不相粘。一旦遇到异性的电解质时，就互相联结增加了重量而下沉，便形成绒团结构（图 2-1 c）。

二、土中水：土中水以各种形式存在于固体颗粒之间的孔隙中。根据列别杰夫的意見，当温度超过 0°C 时，土中水可分成下列几种形态：水汽、吸着水、薄膜水和自由水。茲分别说明如后：

(一) 水汽。它以气体状态存在于土内所有的自由孔隙中，并在土中自压力高的地区向压力低的地区运动。

(二) 吸着水。有的称为吸附水或束缚水，这是坚固地吸附在土固体颗粒表面上的水。它是固体的，但它的结构和普通的冰不同，即使温度很高时，亦存在于土中。

这种水不溶解盐类，没有植物質，亦不冻结，并与土的固体颗粒一起变形。

根据苏联学者最近研究的结果，各类土中所含有吸着水的数量均：

砂.....	0.5%;
粘質砂土.....	0.5~3%;
砂質粘土.....	3~10%;
粘土.....	10~20% 或更多些。

(三) **薄膜水**。有的称为外吸附水或弱束縛水。这种水与土固体顆粒表面的距离比吸附水稍远，因此相互間粘結的强度也較弱。薄膜水的水膜距离土固体顆粒的表面愈近也就愈薄。

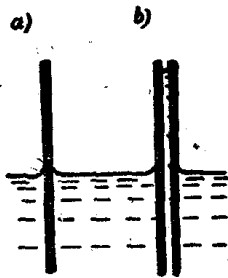
薄膜水的冻结温度低于 0°C ，已冻结的薄膜水在负温度的范围内就能融化。

吸着水和薄膜水总称为粘結水。

(四) **自由水**。它是自由地存在于土顆粒之間的孔隙中，只受重力作用的影响。自由水又可分为重力水和毛细管水。

1. **重力水**。平日大家常遇到的地下水是存在于土孔隙中的，它受重力作用的影响，能在孔隙中自由移动，这种水称为重力水。

2. **毛细管水**。如图 2-2 a 所示的那样，将玻璃片放在水中，



此时，由于浸湿的缘故，玻璃片周围的水稍微要升高一点。如将二块平行的玻璃片放在水中逐渐接近起来，此时，片上水的曲面就汇合起来，形成一个总的凹形表面（如图 2-1 b 所示）。同时水开始在玻璃片間上升，玻璃片彼此愈接近，水上

升也就愈高。这种现象同样发生于毛细管和土的孔隙中。在毛细管或孔隙中向上升起的水称为毛细管水。限定毛细管水柱的曲面称为弯液面。毛细管中水的上升是由于弯液面表面企图缩小的缘故。

粉土和砂土顆粒間的孔隙具有极不相同的形状，且大小亦不一致。在細孔隙中的水比在粗孔隙中的水上升得快，此时上升較快的細孔隙中的水就会填满分布在粗孔隙上面的細孔隙，因此，在粗孔隙中就留下夹气。离开地下水位面愈高，毛细管水上升的

速度也愈緩慢，从而有更多的孔隙被夹气填满，所以水的湿度也就愈小。

苏联学者认为粘土类土中除了粘結水以外，也可能有毛细管水的存在。

三、**气体**：土孔隙中存在的气体有空气、沼气和碳酸气等。

土中的气体看它是否与外界連通而可分成两种情况：

(一) **連通大气的气体**。这种气体虽然存在于土孔隙中，但是它沒有与大气隔絕，而是互相連通的。当大气压力改变时，或土上受到重量作用时，这种气体容易从土中跑掉。

(二) **封閉气体**。这种气体在土中不与外界的大气相連通，它被密封在土中較大的孔隙中。这种现象主要在粘土中可以碰到。

土的固体矿物顆粒、孔隙中的水和气体分別称为土的固相、液相和气相。如风干土，孔隙中沒有水分，只有固体顆粒和气体，常称为单相系。如饱和状态的土，全部孔隙充滿了水，常称为双相系。又如土的孔隙中一部分充滿水，另一部分为气体所填充，这种土称为三相系。

2-2 土各相的指标

作为建筑物地基的土，首先要研究它的强度能否承载建筑物的荷載。但是土的种类很多，土层情况又很复杂，并且影响土的强度的因素也很多，因此，我們必須对每一个建筑場地 进行勘察，采取原状土样进行土工試驗，研究它的物理性質，以便个别地进行計算。

对土的强度影响最大的主要物理特性是土的孔隙度和含水量。这些特性指标的求得，有几种基本指标必須由試驗确定，例如土的容重、固体顆粒的比重和含水

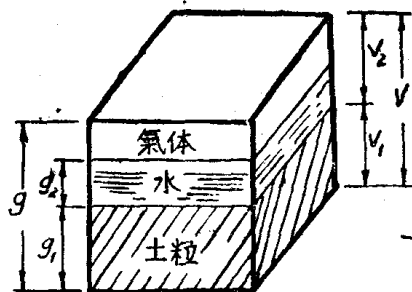


图 2-3 土的相