

中等专业学校教材試用本

工程地质学

(土的物理力学性质实验实习指导部分)

宣化地质学校 編



中国工业出版社

中等专业学校教材試用本



工程地质学

(土的物理力学性质实验实习指导部分)

宣化地质学校編

中国工业出版社

本書为工程地质学及水文地质学中土的物理力学性质实验的实习指导。全書共分六章三十六个实验。内容有：土样的采取和保藏方法；顆粒分析；比重試驗；容重試驗；含水量試驗；相对密度試驗；稠度試驗；膨胀、收缩和崩解試驗；最大分子水容度試驗；渗透試驗；毛细上升高度試驗；压缩試驗；抗剪强度試驗；击实試驗以及实验成果資料整理等。

本書可作为中等地质学校水文地质及工程地质专业的教材，也可供从事实际工作的干部学习参考之用。

工 程 地 质 学
(土的物理力学性质实验实习指导部分)
宣化地质学校編

中国工业出版社出版 (北京伊康路四10号)

(北京市書刊出版事業許可証出字第110号)

地质印刷厂印刷

新华書店科技发行所发行·各地新华書店經售

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张5 $\frac{1}{2}$ ·插頁2·字数112,000
1961年7月北京第一版·1961年7月北京第一次印刷
印数0001—2,533·定价(9—4)0.56元
統一書号: 15165·534 (534—6)

目 录

第一章 土样的采取和保藏	5
§ 1. 概述	5
§ 2. 从試坑和探井中采取土样的方法	8
§ 3. 土样的保藏	11
第二章 顆粒分析	12
§ 1. 顆粒分析的簡易方法	12
实验一 用目測法測定土的顆粒成分	12
实验二 用魯特科夫斯基法測定土的顆粒成分	15
§ 2. 顆粒分析的實驗室方法	21
实验三 用篩析法測定土的顆粒成分	21
实验四 用沙巴宁法測定土的顆粒成分	24
实验五 用移液管法測定土的顆粒成分	31
实验六 用比重計法測定土的顆粒成分	37
第三章 土的物理性質試驗	49
§ 1. 比重試驗	49
实验七 用比重瓶法測定土的比重	49
实验八 用虹吸筒法測定土的比重	54
§ 2. 容重試驗	56
实验九 用环刀法測定土的容重	56
实验十 用蜡封法測定土的容重	58
§ 3. 含水量試驗	61
实验十一 用烘干法測定土的含水量	62
实验十二 用酒精燃燒法測定土的含水量	64
实验十三 用炒干法測定土的含水量	66
§ 4. 相对密度試驗	67
实验十四 測定砂土的相对密度	67
第四章 土的水理性質試驗	73
§ 1. 稠度試驗	73

实验十五	用平衡圆锥式液限仪测定土的塑性上限	73
实验十六	用搓条法测定土的塑性下限	77
§ 2.	膨胀、收缩和崩解试验	79
实验十七	膨胀试验	80
实验十八	收缩试验	85
实验十九	崩解试验	89
§ 3.	最大分子水容度试验	90
实验二十	用吸水介质法测定土的最大分子水容度	91
实验二十一	用高柱法测定土的最大分子水容度	94
§ 4.	渗透试验	96
实验二十二	用达尔西仪测定土的渗透系数	96
实验二十三	用齐姆仪测定土的渗透系数	102
实验二十四	用卡明斯基仪测定土的渗透系数	103
实验二十五	用卡明斯基管测定土的渗透系数	105
实验二十六	用阿别列夫渗压仪测定土的渗透系数	110
§ 5.	毛细水上升高度试验	112
实验二十七	用直接观测法测定土的毛细水上升高度	112
实验二十八	用卡明斯基法测定土的毛细水上升高度	114
第五章	土的力学性质试验	118
§ 1.	压缩试验	118
实验二十九	杠杆加压法压缩试验	118
实验三十	快速压缩试验	129
实验三十一	黄土压缩试验	131
§ 2.	抗剪强度试验	138
实验三十二	用慢剪法测定粘性土的抗剪强度	139
实验三十三	用固结快剪法测定粘性土的抗剪强度	146
实验三十四	砂的抗剪强度试验	149
实验三十五	天然休止角试验	152
§ 3.	击实试验	154
实验三十六	击实试验	154
第六章	实验成果资料整理	161

第一章 土样的采取和保藏

§ 1 概 述

在設計和兴建工程建筑物时，取得土的物理力学性质的資料具有重要的意义。只有正确地确定土的物理力学性质指标，才能結合具体建筑物的要求，做出正确的設計和施工方案，才能保証建筑物稳定。因此，土的物理力学性质实验是工程地质勘察工作的不可缺少的組成部分。

为了把土拿到实验室来进行物理力学性质实验，必須采取土样。按采取土样时結構的保存情况，可将土样分为二种类型：一种是結構已被破坏的土样，称为扰动土样；另一种是結構未被破坏的土样，称为原状土样。

采取扰动土样是比较简单的，也不会有什么困难。但是，要采取原状土样就并不那样简单了，因为在原状土样的采取、搬运和保藏时，很可能发生天然結構的破坏和天然湿度的变化。因此，实验室研究成果的正确性也受到了很大的影响。为了保証实验室成果的正确性，必須要保証原状土样在采取、搬运和保藏过程中，不破坏其天然結構和改变其原有湿度。

实际上，要使原状土样的天然結構和原有湿度完全不被破坏和改变是不可能的。因此，目前我們还必须进一步研究，如何尽可能地减少原状土样天然結構的破坏和原有湿度的改变。

采取原状土样的方法取决于采样坑道的类型以及土的性

质和状态。从試坑和探井中取样与从鑽孔中取样的方法完全不同。从鑽孔中取样的方法在勘探工程教材中有詳細的介紹，所以这里只介紹从試坑和探井中取样的方法。

研究土的各项物理力学性质时，所需采取土样的数量和类型列于表1中。

表1 研究土的各项物理力学性质时所需土样的数量和类型

試驗項目	土的类别		土样类型	土样的重量或体积	備注
顆粒大小分析	砂	砾	扰动	600—3000立方厘米	
"	砂	土	"	200—600 "	
"	粘	土	原状	50—200 "	
天然含水量	砂	土	扰动	20—50 克	
"	粘	土	"	20—50 克	
比重	砂	土	"	20—30 克	
"	粘	土	"	20—30 克	
容重	砂	土	原状	10×10×10厘米	
"	粘	土	"	10×10×10厘米	
疏松及紧密结构的容重	砂	土	扰动	500立方厘米	
孔隙率	粘	土	由計算求之		設用飽和法求之
"	砂	土	扰动	500立方厘米	
临界孔隙比	"	"	求土的抗剪力时同时計算之		
相对密度	"	"	原状	10×10×10厘米	
塑限及液限	粘	土	"	10×10×10厘米	
"	"	"	扰动	500克	
收缩	粘	土	原状	10×10×10厘米	扰动土样，当土用作建筑材料时試驗之
"	"	"	扰动	1 公斤	
膨胀	粘	土	原状	10×10×10厘米	
"	"	"	扰动	1 公斤	
粘滞性	粘	土	原状	1 公斤	与收缩同
最大分子水容度	粘	土	扰动	300克	設用湿体法求之

續表 1

試驗項目	土的类别	土类 样型	土样的重量 或体积	备 注
崩解性	粘土	原状	10×10×10厘米	与收箱同
"	"	扰动	1 公斤	
饱和水量	粘土	由計算求之		設用飽和法求之
"	砂土	扰动	1000立方厘米	
散水性	砂土	由計算求之		設用毛細試驗儀 測定之
毛細上升高度	粘土	原状	10×10×10厘米	
渗透系数:	砂土	扰动	1000立方厘米	根据試驗儀器式 样的不同, 原状 土样需要 2 至 6 个
a) 渗压仪	粘土	原状	10×10×10厘米	
	粘土	扰动	1 公斤	
b) 威姆仪	砂土	扰动	1500—2000立方厘米	
c) 卡別斯基仪	粘土	原状	15×15×15厘米	
d) 卡明茲基仪	砂土	原状	15×15×15厘米	
e) "	砂土	扰动	2000立方厘米	
f) 卡明斯基仪	砂土	扰动	5000立方厘米	
g) "СЛЕЩЕО" 管	粘土	原状	10×10×10厘米	
压缩系数	粘土	原状	10×10×10厘米	
	砂土	扰动	500—800克	
內摩擦角及粘聚力	粘土	厚状	10×10×10厘米	
	砂土	扰动	3000—3500立方厘米	
休止角	砂土	扰动	1000—2500立方厘米	
矿物組成	粘土	扰动	500 克	
	砂土	扰动	500 克	
化学組成:				
a) 水萃取法	粘土和砂土	扰动	500 克	
b) 純粹化学分 析法	粘土及砂土	扰动	500 克	

注: 表內所列土样的尺寸、重量及数目, 一般比實驗室所需者稍多。以便
使實驗室在作試驗之前有选择样品和校正試驗的可能。

§ 2 从試坑和探井中采取土样的方法

在試坑、探井或天然地面上采取粘性土的原状土样时，所采用的取土器为一直径40—50至120—150毫米、高20—30至200毫米的圓筒，切刃向一边傾斜，为取土方便起见，筒頂常套上一特殊把手（图1）。用此筒取样时，其步骤如下：在坑中选定的深度处，先清理土的表面，再把圓筒放在

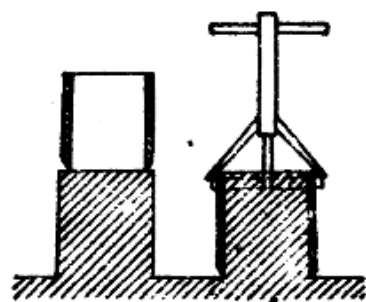


图 1 取土筒

土上面，用刀切成比圓筒略大的土柱，一面切一面将土柱上的圓筒漸漸下压，这样多余的土被筒刃切去，当筒內土柱高出筒頂时，表示土柱已填滿筒內，再由筒底側面把筒底下的土掏去，取下筒与土，最后将筒上下两端多余的土切去。

取土器也可用鉄皮制的立方体盒来采取原状土样，其方法与上述相似。

为了保持土样的湿度，取得的土样应立即用蜡把它封閉起来。封蜡时需一套封蜡設備：直径30—40厘米的溶蜡鍋、加热的爐子以及涂蜡的刷子等。当使用取土筒或方盒的土样封蜡时，只要把开口的一面封上蜡，将土样需要封蜡的面浸在溶化的蜡液（溫度約 70°C ，不宜煮沸）中，立即（1—2秒鐘）提出，这样浸二至三次，則在土面上封上約1.5毫米厚的蜡皮。如果蜡面有气泡出現，可用热針刺之，并重新沾蜡。

对粘性很高的土，采取土样可不用圓筒和方盒，其方法更为簡單。在試坑底或壁上預先选定的深度处，用小鏟子挖

上述取样方法不适用于采取輕輕震动就易破碎的土样(砂土)。对砂土采取原状土样至今仍旧認為是十分困难的事。1940年H. B. 罗季昂諾夫提出一种采取未胶結砂质土原状土样的方法, 这种方法的原則是:

(1) 把原状土样的尺寸尽量縮減, 因而, 也就減少了其重量, 这样就可以保証試样有比較高的完整性;

(2) 在原状土样的周围造成一个致密的外壳, 以防止土样的干化和破坏;

(3) 在原状土样的周围形成可塑的介质, 这样当取土环切入时, 可保护土样。

按罗季昂諾夫方法, 以下列步驟来采取原状砂土样:

在土层中切一个不大的土柱, 在土柱上套上紙板制的环(图3), 該环的大小須比原状土样的高度与直径大1—1.5厘米, 把由50% (按重量計) 的蜡和50% 无色松香制成的热熔

合物(这种熔合物具有不高的熔点, 并有相当大的可塑性), 灌滿环与土之間的空隙。从下面将原状土样切断, 将其两端也浇以熔合物。然后, 将该土样送往实验室。

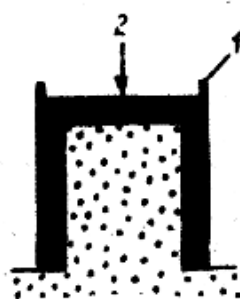


图3 原状砂样的选取

(罗季昂諾夫)

1—厚紙环; 2—熔合物

在实验室内, 把土样两端的熔合物削掉, 并清理試样表面。把土样放在滤紙上, 于其上套以一直径比土样直径大1—2厘米的金属环, 土样和

环之間的空隙, 借助于吸液管灌入热熔合物。在原状土样上放置用来进行試驗的切削环(图4), 用不大的压力将其压入土样中。在将环压下时, 随时都应注意保持环壁垂直。在压入过程中, 土便填入空环內, 把带有土样的环推出, 并沿

环边缘将土样切平，然后放置与切土环相应的仪器中进行试验。

§3 土样的保藏

为了防止在原状土样运输和保存期间，蜡皮外壳开裂土样干化，或者由于振动而使土的结构受到破坏，在运输过程中，应把土样放在专门制备的箱子中。箱子必须比土样较大，使其在箱壁和试样间能够有3—5厘米的空隙。为了避免原状土样受振动，于箱中土样的周围塞满刨片、稻草、纸条、锯屑等软包装填料。

为了使土样有更好的完整性，最好事先用石蜡将箱壁封起来，再将土样四周的锯屑稍微浸湿。

当原状土样的体积不大时，我们可以把几个原状土样用一个箱子隔成数格来运送和保藏。

冬季为了防备土样的冻结，最好在运送时用绝热材料仔细地包装土样。

如果采取用来测定天然湿度的尺寸不大的土样，经常可用带有磨盖的玻璃称量瓶，或铝制的盒子来运送。用熔蜡封闭装有湿土的称量瓶或盒子，然后装入箱内。在包装前，为了避免损坏外壳，将每个称量瓶都用棉花包裹起来。

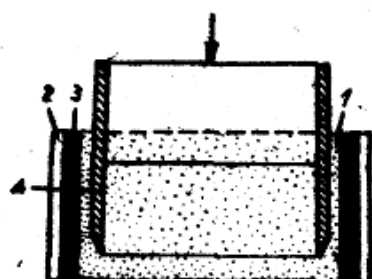


图4 按罗季昂诺夫方法，用切削环制备土样

1—土壤；2—金属环；3—熔合物；4—切削环

第二章 顆粒分析

土的顆粒成分是指土中各种不同粒径顆粒的相对百分含量。

为了測定土的顆粒成分而进行的实验，称为顆粒分析試驗（簡称为顆粒分析）。顆粒分析是按顆粒直径大小由最大的开始，将土顆粒划分成若干个土粒組，然后測定各土粒組所占土的总重量的百分比。

顆粒分析的方法可分为两种：

（1）簡易方法：可提供近似的結果，多半是在野外或工地上进行的。属于这种方法的有目測法、魯特科夫斯基法等。

（2）實驗室方法：能提供較准确的結果，但須有相当复杂和專門的設備。它們应用于根据簡易方法分析資料所选出来的具有代表性的土样，以及应用于科学研究方面。属于这种方法的有篩析法、沙巴宁法、比重計法和移液管法等。篩析法适用于大于0.1毫米的顆粒分析；沙巴宁法、比重計法和移液管法适用于小于0.1毫米的顆粒分析。若土中粗細兼有，則可联合篩析法和比重計法（或沙巴宁法、移液管法等）进行試驗。

§1 顆粒分析的簡易方法

实验一 用目測法測定土的顆粒成分

一、仪器設備：

（1）瓦西里耶夫斯基图（見图5）；

(2) 放大鏡；

(3) 其它：小刀、小錘子等。

二、操作步骤：

(1) 假如被分析的土是砂土或砾石，那么决定它們顆粒的大小用瓦西里耶夫斯基图。把砂粒撒在瓦氏图內圓圈的中央，用放大鏡确定砂粒的直径，来与图 5 中的圓圈比較。根据占绝对优势的砂粒直径来确定土的名称。

对于大于10毫米以上的砾石，可用正方形网格来对比确定顆粒直径。

(2) 假如被分析的土是粘性土，那么可以把土放在手掌上，用手指揉碾，并用放大鏡观察，按菲拉托夫所列举的方法（見表 4），确定土的顆粒成分，并按土加水搓滾时的状态确定土的名称。

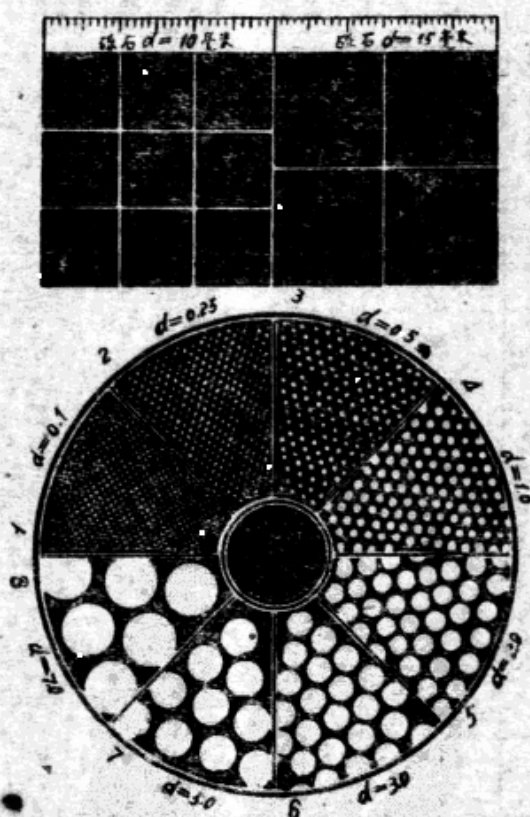


图 5 砂的顆粒成分简单测定
(瓦西里耶夫斯基图)

表 4 根据外貌特征测定土的颗粒成分 (菲拉托夫)

土的类别	用手指在掌上揉搓时的感觉	掌上被揉搓的土在放大镜或肉眼观察下的外貌	干土性质	湿土性质	土搓滚时的状态	其他特征
粘土	甚细相等的土、干土块难于搓成粉末	颗粒微细不含大于0.25毫米的颗粒	干土块不易被锤击成粉末	强可塑的, 粘性的及滑腻的	在不粘手又不裂的湿度下, 易搓成直径小于1毫米的细条。易捏成球体	用刀切割风干土块时, 表面光滑, 显无砂粒
亚粘土	土在掌上揉搓时不感觉是相同的粉末	在占多数的微细的土颗粒中, 显见大于0.25毫米的砂粒	以锤冲击及以手按压时土块易碎裂	可塑的	可以搓成直径1至3毫米的土条, 土条至此就断裂	同上但有砂粒存在
亚砂土	非相同的粉末, 显觉其中砂粒的存在	大于0.25毫米的砂粒占多数	土块以手压及握于板上时易碎裂	弱可塑的	只能搓成直径大于3毫米的土条	用刀切割风干土块时, 表面粗糙
砂土	松散的颗粒	几乎全由大于0.25毫米的砂粒组成	松散的	湿度不大时具有不大的粘聚力。过度潮湿时易成流动状态	不能搓成土条及球体	—
砾石	—	有多量的大于2毫米的颗粒存在; 当多于50%时则砾石	松散的	—	—	—

实验二 用魯特科夫斯基法测定土的颗粒成分

一、原理：

魯特科夫斯基法测定土的颗粒成分，是将其颗粒分成四个土粒组：

- (1) 砾石 大于2毫米的粒组；
- (2) 砂土 2—0.05毫米的粒组；
- (3) 粉土 0.05—0.005毫米的粒组；
- (4) 粘土 小于0.005毫米的粒组。

第一组砾石部分是通过孔径为2毫米的筛子来决定的；第二组砂土部分是用水洗来分开的；第四组粘土部分是利用不同粘土的含量其膨胀量的不同的原理来确定的；剩余的即属第三组粉土部分。

魯特柯夫斯基法由于其仪器设备和操作方法简便，所以对于大量的工地鉴定，初步识别土的颗粒成分有一定的意义，并得到了广泛的采用。但是这种方法很不精确，其缺点是：

(1) 魯氏法是由某一粒组的体积占土的总体积的百分含量来确定的，然而在测定体积时，除颗粒体积外还包括了空隙的体积，而不同的粒径其孔隙率不同。

(2) 魯氏法假定土中粘土颗粒含量与其膨胀量存在着比例关系，但是实际上这种关系是很复杂的，因为水中土膨胀的体积不仅取决于粘土颗粒的含量，而且和它的矿物成分以及水的化学成分有关。

(3) 由于所用的量筒刻度较粗糙，所以读数也不准确。

二、仪器设备：

- (1) 筛子，孔径2毫米；

(2) 量筒：直径2.5厘米，容量100立方厘米；

(3) 氯化钙溶液（100立方厘米水中5克）；

(4) 其它：带橡皮头的玻璃棒、磁鉢、棒、附秒针的停錶等。

三、操作步骤：

測定砾石（大于2毫米）的含量：

(1) 取风干的代表性試样，置于磁鉢中，小心地用带橡皮头的棒磨碎土中的結块。

(2) 將試样以量筒取容积 $V = 100$ 立方厘米。量試样时，將土少量傾入筒內，并以带橡皮头的棒击筒壁及筒底或將筒放在任何物体（如書、垫物等）上輕敲，使試样变得密实。

(3) 將量得的試样通过孔径2毫米的篩。

(4) 遺留篩上部分的土倒回量筒，同样使之密实，并量其体积 V_1 。

測定砂粒（2—0.05毫米）的含量：

(5) 将通过篩孔2毫米的上倒10立方厘米于容积为100立方厘米的量筒中，并稍为使之密实。

(6) 量筒中注水至100立方厘米，然后用玻璃棒小心地将土与水搅成浊液，并靜置90秒鐘。

(7) 滿90秒后，將浊水由筒中傾出，至量筒中剩10立方厘米的浊面为止。重新以清水注入筒中，至100立方厘米，再用玻璃棒搅浊后靜置90秒鐘。

(8) 繼續筒中砂土的澄洗手續，直到傾注高度（由10立方厘米至100立方厘米）經靜置90秒鐘后变成透明时为止。

(9) 为了校核洗滌是否清淨，筒中再几次注入清水至