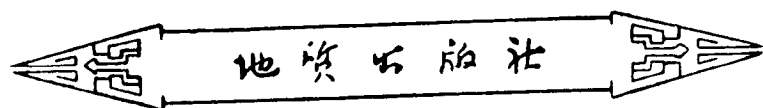


苏联中等专业学校教学用书

土质学和土力学实 验室工作实习指导

Е.Г. 恰波夫斯基著



土质学和土力学 实验室工作实习指导

Е. Г. 恰波夫斯基 著

方 黎 译 李仁柄 校

苏联人民委员会全苏高等教育委员会
批准为地质勘探中技学校教学用书

地质出版社

1958·北京

КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ ГЕОЛОГИИ ПРИ СНК СССР
Е. Г. ЧАПОВСКИЙ

ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ГРУНТОВЕДЕНИЮ
И МЕХАНИКЕ ГРУНТОВ

Допущено Всесоюзным Комитетом
по делам Высшей школы при СНК СССР
в качестве учебного пособия для геолого-разведочных техникумов
Госгеолиздат
1945

本書系根据苏联地質勘探高等技術学校与礦業高等技術学校工程地質与水文地質專業課程的教学大綱編寫的。

每章与每个題余包括操作方法的規范性叙述外,还包括仪器的描述、实验資料的整理示例,以及書中未談到的其他方法的簡要指示。

本書可作为水文地質專業大學生的参考書,但对工程地質实验室与土質学实验室的实际工作者也是有益的。

土質学和土力学
实验室工作实习指导

著者 E. Г. 恰·波·夫·斯基
譯者 方 黎
出版者 地質出版社
北京宣武門外永光寺西街3号
北京市書刊出版業營業許可証出字第050号
發行者 新華書店
印刷者 地質印刷厂
北京廣安門內教子胡同甲32号

印数(京)1—1,360册 1958年3月北京第1版
开本31"×43" / 25 1958年3月第1次印刷
字数 139,000 印張 6¹⁶/₂₅ 插頁1
定价(10)0.90元

目 錄

原序	5
書中采用的主要數值的代表符號	6
第一章 粒 度 分 析	8
粒度分析時土樣的制备	9
第一題 篩分析法粒度分析	12
第二題 沉淀法粒度分析	13
第三題 羅賓周法粒度分析	20
第四題 比重計法粒度分析	25
第五題 魯特柯夫斯基野外粒度分析法	39
第六題 粒度成分的表示法	44
第二章 比重、容重和孔隙率	48
第七題 比重 $\gamma = \frac{G_s}{V_s}$	48
第八題 土的含水量	50
第九題 容重	53
第十題 孔隙率	60
第十一題 緊密度和濕潤度	64
第三章 粘土類土的稠度	68
第十二題 土的塑性和稠度的測定	68
第十三題 膨脹	77
第十四題 浸透	80
第四章 水容量和排水量	82
第十五題 水容量與排水量的測定	83
第五章 土的毛細管性質	88
第十六題 土的毛細管性質的測定	89

第六章 土的透水性	93
第十七題 用齐姆仪渗透係数的測定.....	94
第十八題 用卡明斯基試管渗透係数的測定.....	98
第十九題 用專門地質管渗透係数的測定.....	106
第二十題 用經驗公式渗透係数的測定.....	107
第七章 壓縮性	117
第二十一題 壓縮曲綫的繪制.....	122
第二十二題 根据壓縮試驗的資料渗透係数的間接測定.....	134
第二十三題 根据拉博特諾夫法校正壓縮曲綫的圖解法.....	138
第八章 土的抗剪强度	141
第二十四題 用普茲列夫斯基仪器抗剪强度的測定.....	146
第二十五題 根据天然坡度角砂的內摩擦角的測定.....	153
参考文献	155
附錄	
I. 普里克朗斯基土的基本特性的名称及表示方法.....	157
II. 計算土特性的基本公式.....	158
III. 按粒度分析土的分类.....	162
IV. 0至1000的普通对数表.....	163
V. 0° 至 45° 正切角表.....	166

原 序

本教学参考書系根据莫斯科地質勘探学院工程地質課程的教学大綱編寫的，目的是帮助大学生們在土質實驗室里進行独立的工作。

根据工程地質課程教学大綱，土質学与土力学理論課程是在实验課以前講授。因此在本書中关于土質学的原理或者省略了，或者是極其一般地簡短地叙述，这只是为了帮助学生很快地記起講过的課程，并对土的物理力学性質的研究能自觉地独立進行實驗室的工作。

書中叙述了測定土的物理力学性質基本因素的最主要的方法。大学生們在實驗室中独立進行研究的实验大綱上所規定的方法，均按實習課題的形式加以叙述，但对其他方法僅僅援引了相应的文献。

每項實習內容均以規範的形式，無論在試驗本身的布置或者以后試驗成果的計算方面，都作了十分詳細的論述。

在叙述实际操作方法时，著者遵循着 1940 年土的研究會議的決議。

書中采用的主要数值的代表符号

数值名称	代表符号
稍湿的全部土的体積	V
絕對干燥状态的全部土的体積	V_d
骨架体積	V_s
孔隙体積	V_n
水的体積	V_w
空气体積	V_a
骨架重 (或絕對干土重)	G_s
水重	G_w
湿土重	G
土的比重	γ
湿土容重	Δ
固体相的容重 (土骨架)	δ
浸水容重	δ_u
絕對干土容重 (在105°C下烘干的)	δ_d
已知孔隙率 (重量孔隙率) 的飽和含水量	W
含水量 (重量的)	w
孔隙率	n
体積的含水量	n_w
孔隙比	ε
引用体積的含水量	ε_w
相对含水量 (飽和度, 飽和係数)	K_w
最大吸着率	w_h
最大分子水容量	w_m
毛細管水容量	w_k
飽和水容量	W_i
縮限	W_o
塑性下限	W_l

粘滯性界限	W_s
塑性上限	W_f
液性界限	W_l
塑性指數	M_p
砂的緊密度	D
砂的壓縮性	F
稠度	K_p
滲透係數	K
粘土壓縮係數	a
內摩擦係數	f
內摩擦角	φ
剪切角(內摩擦角)	ψ
凝聚力	C, C'
測壓力係數	ξ
相對壓縮模數	E
滲透速度	v
水頭梯度	I

第一章 粒 度 分 析

土的粒度（机械的）成分的涵义是指土中（按重量）各种不同粒径颗粒的相对的（百分比）含量。

为了测定土的粒度成分須进行所谓的粒度分析。粒度分析就是按颗粒直径大小由最大的颗粒开始将土划分成各组颗粒。

现在已经研究出许多种土的粒度分析方法，这些方法分为下列几类：

1. 目测法或目视法，此方法是以肉眼或利用放大镜把所要研究的土与已经规定的土的机械成分的标准加以比较。

目视法有若干种操作法〔3〕。

2. 菲拉托夫和鲁特柯夫斯基的野外方法。

菲拉托夫法〔11〕是用专门的漏斗和小管测定膨胀指数和力学指数来评价土的粒度成分。

鲁特柯夫斯基法在下面叙述。

3. 水力法。

这些方法是根据液体中悬浮颗粒下降速度的原理来划分土。此类方法又分：（a）静水中沉淀法，亦即沙巴宁，阿太堡，威廉士及其他等人的方法；（b）水流分组法，如谢涅法〔6；19〕。

4. 连续分析法。

以下所述可作为这类方法的示例：

（a）顺次从制备好的悬浮液中采取试料法。例如下述罗宾周滴管分析；

（b）沉淀物直接称量法，此沉淀物系悬浮液静置时逐渐沉淀的，斯文—奥金法〔6〕可作为其例；

(B) 懸浮液密度測定法或懸浮液靜水壓力測定法，這些方法中包括下述的比重計分析和維哥聶爾法〔19〕。

5. 离心法。

這種粒度分析法系由於离心机旋轉所產生的離心力而使小顆粒沉淀〔15；29〕。

上述方法在工程地質實習中較常用的有：篩分析，沙巴寧法，羅賓周法，比重計分析以及魯特柯夫斯基法。

1940年所舉行的土研究會議上通過了篩分法和比重計分析作為大規模工作時粒度分析的標準方法。

粒度分析時土樣的制备

粒度分析時土的預先制备，即是用某種方法消除土中顆粒間存在的聯系。

現有的粒度分析土的制备方法可分為兩類：（1）物理力學的和（2）化學的。第一類方法有：（a）將土與水攪拌；（b）將土煮沸；（B）碾磨。化學制备，即是用某種反應劑（鹼，酸等等）處理土。

用各種方法制备土時，所得到土的分散程度是不相同的。因此，用不同方法制备的土，其分析結果是完全不同的，而且也不能用來相比較。

化學制备法會使土的成分發生較深刻變化，土的某些組成部分被溶解了，因而在粒度分析時不能將它考慮進去。因此，粒度分析土的化學制备法僅僅在特殊情況為了特別的任务才能使用它。

現今粘土類土的粒度分析制备的基本方法，是採用浸濕法，蒸餾水煮沸法以及碾磨法。含有鹽電極的土除煮沸外，有時還要用水預先洗滌，直到排除全部能引起凝結的可溶于水的鹽類。

根據上述各種方法相互配合的不同，粒度分析用土的制备分為下

列三種方式：第一種方式——分散分析；第二種方式——半分散分析；第三種方式——組合分析。

第一種方式（分散分析）。這種方式即是用陽離子 Na 代替全部將被交換的陽離子，使土成為最大分散狀態。其製備過程如下：

1. 將風干土放在磁臼中用橡皮杵磨碎，然後通過 0.5 公厘的篩。
2. 由過篩的細土中取兩份劑量，各為 20 克。
3. 將每份劑量放在單獨的過濾紙上，用六份（每份 50 公分³）標準氯化鈉（NaCl）溶液洗滌。
4. 然後用三份（50 公分³）標準蘇達（Na₂CO₃）溶液洗滌。
5. 在濾紙上用兩份（各 25 公分³）蒸餾水洗滌每份劑量。
6. 將一個劑量由濾紙上倒入錐形燒瓶中，加蒸餾水達到總體積 200 公分³為止，再加 1 公分³苛性鈉標準溶液然後煮沸一小時，這樣分散分析的製備就算結束。
7. 另一份劑量由濾紙上取下烘乾至絕對乾燥狀態再測定其重量，這個重量做為以後計算用。

如上所述，土的粒度分析的這種製備方法僅在特殊情況下，即為了獲得土最大可能分散程度的概念才可採用。

第二種方式（半分散分析）。這種方式即是不用激烈的化學作用使土成為天然的單個分子。製備過程如下：

1. 將風干土放在磁臼中用橡皮杵磨碎，然後通過 0.5 公厘的篩孔過篩。
2. 如果用（羅賓周）滴管法分析，由過篩的細土中對粘土可取 10 克試料，砂質粘土—15 克，重亞砂土—20 克，如果用比重計法分析則對粘土可取 20 克試料，砂質粘土—30 克，亞砂土—40 克。同時取第二份 5 克重的試料測定吸附水份。
3. 採取凝固用的土樣：約 2 克的土放在磁皿中與 10 公分³的蒸餾水一起用橡皮杵攪拌。

加上 20 公分³水以後將磁皿煮沸 5—10 分鐘，然後經漏斗注入玻璃

試管中，試管的容積約為30公分³。

將試管放在台架上靜置到次日。如懸浮液在次日已凝固并從外形上顯然看出已形成凝固物（松散的棉絮狀沉淀物），此時分析用的土則需洗去促成凝固的鹽。

4. 為此將所取的分析用的劑量，放在濾紙上用蒸餾水洗滌至除去可溶鹽為止。

當濾液沒有 AgNO_3 和 BaCl_2 反應時，洗滌即可結束。

將濾液收集在一個器皿中攪拌后再取兩份試料，各100公分³。將試料蒸發，烘干并稱重，之后計算全部濾液中可溶鹽重量的平均值，再以后測定分析用土試料的淨重。為此將吸附水的重量和可溶鹽的重量由風干試料重量中減去。試料淨重可作為以后計算用。

5. 將土用蒸餾水由濾紙上沖到錐形燒瓶里，燒瓶上刻有表示容積200公分³的標志。將水注至該標志后，再加0.5公分³氨水，將懸浮液煮沸一小時，并事先用帶有回流冷卻器的塞將瓶口堵住。

6. 如土中不含可溶鹽，則不用水沖洗。在此種情況下將所取之劑量倒在盛100公分³蒸餾水的皿中，使其浸潤一晝夜。浸潤后用手指將小土塊捏碎，然后按5中所述進行煮沸。

7. 煮沸后，將懸浮液通過0.25公厘的篩孔過篩。粘土小塊—集合體用手指在篩壁上碾碎。剩在篩上的砂顆粒須進行沖洗，收集一起，放在坩堝里烘干并稱重。

8. 將通過0.25公厘篩孔過篩的懸浮液注入深的磁皿中，靜置一分鐘左右，之后將沒通過篩的混濁液注入清潔的玻璃管（直徑約6公分），用橡皮杵將沉淀物磨碎。向皿中注入蒸餾水用棒攪拌，再重新靜置，將混濁液再注入同樣的玻璃管中。反復這樣處理直到皿中僅剩下淨砂而清潔的玻璃管中已完全充滿懸浮液時為止。

9. 向管中加水至總容積為1升為止，攪拌懸浮液至使其底部完全沒有沉淀物，然后進行分析。

第三種方式（組合分析）。按這種方式土即不進行機械磨碎，也

不進行化學加工。此情況下土的制備只是將土的天然小塊放在水中浸濕。

第一題 篩分析法粒度分析

篩分析法粒度分析即用篩孔直徑為 10、5、2、1、0.5 公厘（參看圖 6）的一套篩子進行篩分析。也有用其他尺寸孔徑的篩。

篩分析僅適用於土的粗顆粒部分，能過篩的顆粒極限值為 0.1 公厘。

試料的制備和分析的進行

1. 使土成風干狀態。為此，將土散在一張紙上，用橡皮杵碾碎所有的大土塊和結構集合體，然後將土在紙上放置 1—2 晝夜。

2. 採取平均劑量。為此將風干的試料仔細的攪拌，然後用刮切或勺將土在紙上弄成數公厘厚的薄層，再分成各邊為 3.5—4.0 公分的小方塊。用勺在每個小方塊中取一小部分土，各小方塊中所取出劑量的總和應當是：對不含大於 2 公厘的顆粒的土約為 200 公分³（按棋盤狀可取此整個小方塊）；對含 10% 以內的顆粒大於 2 公厘的土不少於 600 公分³；對含 10—30% 礫石的土約為 2000 公分³；含 30% 以上卵石時不少於 3000 公分³。

3. 取出的試料進行稱量（精確度到 0.01 克）並使其通過一個套一個的全套篩子到土完全分好為止。過篩是用手掌輕輕擊動篩邊產生水平震動。

4. 將每層篩上的試料用工業天秤稱量並與總劑量用百分率表示。

5. 為了校証，可將各組顆粒的重量加在一起並將所得的數值與做分析的試料的原始重量相比較，誤差在 1% 以內者認為是合乎標準的。誤差很大時即表示發生了某種錯誤或不小心的丟失了試料顆粒，在此情況下應重新進行分析。

同時進行兩次分析時，如果每組顆粒含量少於 10% 時允許誤差為

± 1% (絕對值); 如果它的含量大于10%允許誤差則± 3%。

6. 分析資料填入下列格式(表1)的表中。

計算示例 進行分析的劑量為500克。過篩後得:

粒組	> 10公厘	5 克	即	$\frac{5 \times 100}{500} = 1\%$
"	10—5 公厘	20 克	即	$\frac{20 \times 100}{500} = 4\%$
"	5—2 公厘	25 克	即	$\frac{25 \times 100}{500} = 5\%$
"	2—1 公厘	50 克	即	$\frac{50 \times 100}{500} = 10\%$
"	1—0.5公厘	105 克	即	$\frac{105 \times 100}{500} = 21\%$
"	0.5公厘	295 克	即	$\frac{295 \times 100}{500} = 59\%$
總計				100%

篩分析資料記錄格式
分析試料重量 500 克

表 1

粒 徑 (公厘)	>10	10—5	5—2	2—1	1—0.5	<0.5
皮重 (玻璃或陶磁皿) (克) ...	30.10	20.63	31.00	30.57	81.75	80.50
皮與顆粒合重 (克) ...	35.10	50.63	56.00	80.57	186.75	375.50
顆粒重量 (克) ...	5.00	20.00	25.00	50.00	105.00	295.00
顆粒含量 (%) ...	1.0	4.00	5.00	10.0	21.0	59.0

所需之儀器: 全套標準篩, 工業用天秤, 砝碼, 陶磁皿或表玻璃
 $d=8-10$ 公分。

第二題 沉淀法粒度分析

A. 沙巴寧二次沉淀法

沙巴寧二次沉淀法粒度分析的原理: 根據靜液體中懸浮顆粒的下

降速度將土分成若干粒組。

根据沙巴宁的研究，所取顆粒直徑的下降的速度如下（表2）。

在实际工作中一般沙巴宁法是用于質点小于0.01公厘的砂土和亞砂土的分析，而該顆粒含量按总和計算。

表 2

直 徑 (公厘)	沙 巴 宁 速 度 (公分/秒)	$\gamma=2.65, t^{\circ}=17^{\circ}\text{C}$ 时 斯托克斯速度 (公分/秒)
0.05	0.2 (5 秒 / 公分)	0.2067
0.01	0.02 (50 秒 / 公分)	0.0082
0.005	0.0046 (36 分 / 公分)	0.0021
0.001	0.00012 (2 小时 24 分 / 公分)	0.00008

这种方法的粒度分析宜用專門的仪器進行。

沙巴宁仪器（圖1）包括：兩個分度杯——大杯①沿杯高度刻有12公分的刻度，而小杯刻有6公分的刻度；虹吸管夾子4；平衡台支架2；注水用的小桶9；水平計3；0.25公厘的篩5；秒鐘8；小瓷皿7及6；帶有橡皮头的玻璃棒10。

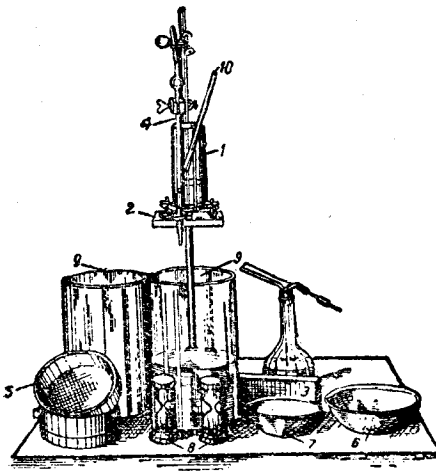


圖 1. 沙巴宁粒度分析仪器

(a) 仪器的按裝

1. 將仪器擺在平台上; 在調節台上用水平計和調節螺栓使仪器呈水平位置。

2. 將蒸餾水注至刻度2的小杯擺在調節台上。

3. 用水把吸管裝滿, 并將其下端置于距杯底2公分的水

平处。

4. 全部仪器的安装应使小杯上的刻度又呈水平。

(6) 试样的制备

1. 将待分析的土置于瓷钵中，并用橡皮杵研磨以便研碎结构小块。

2. 将通过0.5公厘筛孔的土烘至风干状态，再用筛孔为0.5公厘的筛过筛。

3. 从通过0.5公厘筛的风干土中用前述方法，取两份各为5--6克的平均剂量。一份剂量放入烧杯中以便测定吸附水份的含量。

全部称量均在分析天秤上进行，称量的准确性至0.0002克。

4. 将分析用的剂量土移入爱尔林涅伊叶尔烧瓶，并注入10倍剂量的蒸馏水再加1公分³的强氨水^①。

5. 用塞将小烧杯盖上，在小烧杯内放置一个长20--15公分并包以湿滤纸的玻璃管（亦可采用回流冷却器）^②。

6. 将小烧杯放在石棉网上，煮沸一小时^③（从水沸腾算起）。

7. 煮沸后将烧瓶冷却，然后将其中的土倒在0.25公厘的筛上，此筛预先浸湿并置在较大的磁皿上（容积约0.5立升）。往筛上的土倒入一定数量的蒸馏水，使此水的水平面高于筛底。筛上的土在水下小心地用手指捻碎，并将筛从水中稍微提高，然后再放入水中。

这样处理直到从筛中流出清水为止。

为检验，将筛可再置于另一个磁皿中，重新进行冲洗。

在第二个磁皿中收集的颗粒与第一个磁皿中的颗粒併在一起。

8. 将留在筛上的0.5—0.25公厘的粒组收集在预先称量的小磁蒸

①粘土类土应事先浸湿一晝夜。

②小管的下端应当与塞的下表面齐。小管呈这种状态时蒸汽冷凝的水呈细流由小烧瓶壁流下，冲洗土的颗粒。为保持土与水之间的关系冷凝是必须的。

③烧瓶中的溶液开始缓慢地煮沸，当它起泡停止时，则用强烈的火焰，但是在这种情况下不能要溶液沿瓶壁溅出。

發皿中；沉淀后將多余的水倒出并放在水槽上烘干。

9. 达到絕對干燥状态后進行称量。称量的結果与总剂量以百分率表示。

(e) <0.01 公厘的粒組含量的測定

10. 將通过0.25公厘的篩的懸浮液收集在大磁皿中用橡杵攪拌，經20秒鐘以后將上層液体（无沉淀物）沿玻璃管倒在另外一个容積約为200公分的皿中。攪拌磁皿中的液体，并經50秒鐘將其（无沉淀物）倒在小玻璃杯中至刻度4。

11. 用橡皮杵攪拌倒在小玻璃杯中的懸浮液，然后將其靜置100秒鐘。

經过100秒鐘^①以后，將液体用虹吸管^②倒在大玻璃瓶中至2公分高。

12. 大小磁皿中液体的攪拌每次都必須進行：在小磁皿中在向杯中倒以前50秒鐘進行；在大磁皿中在向小磁皿倒以前20秒鐘進行。

向外倒出液体应用小玻璃管進行，以免液体流掉和顆粒散失。

13. 每倒6—8次以后，磁皿中的顆粒应用手指搓研2—5分鐘，根据粘土含量多少而定。杯中的顆粒也建議这样做，为此需將其倒在小磁皿中，以后再繼續攪拌。

14. 磁皿中的攪拌繼續到：顆粒不再迅速沉淀于底部，攪拌以后沉淀物上部的水相应地經20—50秒鐘以后不再完全透明了为止；但在筒中繼續到：攪拌后繼100秒鐘，液体上部高2公分以內不含懸浮顆粒为止。

15. 为了檢查攪拌是否徹底，磁皿和小杯中的液体倒在大杯中，

①此时根据表2在水柱中2—4刻度中間僅僅剩下 <0.01 公厘的呈懸浮状态的顆粒，并且將它們倒出。

②为了减少虹吸管的吸附力，必須使虹吸管的注水管高出吸水管1—2公厘，而高出帶膠皮的管3公分。