

砂土和黏土的 物理力学性試驗法

В.Д. 罗姆他捷 著

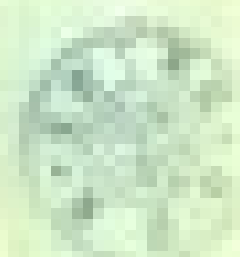
人民铁道出版社

122165

科学出版社

砂土和黏土的 物理力学性試驗法

（日）野崎 昭三 著



人民交通出版社

砂土和黏土的 物理力学性試驗法

В. Д. 罗姆他捷著

饒鴻雁譯

人民鐵道出版社

一九五七年·北京

本書敘述土壤在工程地質研究和建築應用方面的試驗方法和儀器。本書可供土木工程、地質勘探人員和大學土壤試驗的參考之用。

砂土和黏土的物理力學性試驗法

МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ПЕСЧАНЫХ И ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

苏联 В.Д.ЛОМТАДЗЕ 著

苏联國家地質出版社（一九五二年俄文版）

ГОСГЕОЛИЗДАТ 1952

饒鴻雁 譯

人民鐵道出版社出版

（北京市霞公府17號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

人民鐵道出版社印刷廠印 新华書店發行

書號144 開本850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張6 $\frac{1}{2}$ 字數233千

1953年11月第1版

1957年6月第1版第3次印刷

印數：1,410冊〔累〕7,530冊 定價（10）1.10元

序 言

战后的苏联配合着国民经济的恢复和以后的发展，进行了大规模的建设工程。

在苏联顺利地实现了改造自然界的伟大斯大林计划。开始建造了古比雪夫（Куйбышевский）、斯大林格勒和卡合夫（Каховский）水电站以及土库曼（Туркменский）、南乌克兰、北克里米和伏尔加—顿运河等巨大工程。並进行了城市、工业企业、铁路和公路等等巨大的新建和修复工作。

由于建筑的巨大发展，工程地质调查规模也不断地增加和扩大。在作这些调查时，随时都需要研究土壤的物理力学性质。

土壤可以作为建筑物的基础和建筑材料。在现时没有考虑土壤的性质而进行建筑物的设计和施工是不可能的。因此施工者们就更需要有关土壤研究的方法和技術方面的各种参考资料和指南。许多从前出版的手册都变成了参考书中的珍品。此外，要想达到土壤科学的近代成就，須把从前提供有关土壤的性质和其研究的方法复核一下。近年来苏联的专家们創造新的土壤试验仪器和方法上曾作了很多的工作。所有这些情形都彙編在本书中了。

在本书里把土壤工程地质研究中在建筑方面所使用的近代方法和仪器給以詳細的說明。本书是为工地和固定的地质、工程地质与水文地质队及实验室的中等技术人員而編著的。它也可作为大学生工程地质和水文地质課程中实地练习的参考资料。

对于托尔斯奇亨（Н.Н.Толстихин），卜里克郎斯基（В.А.Приклонский）和馬斯諾夫（Н.Н.Маслов）三位教授，塞爾托夫（П.И.Желтов）講師，地质矿业学碩士馬克西莫夫（В.М.Максимов）及高級实验工作者伊斯托敏納亞（Л.И.Истомина）的校閱此書和提供意見，列宁格勒矿业学院的水文地质和工程地质教授会全体人員的协助写成此書，著者謹在此表示衷心的感謝。

著者在研究土壤試驗方法和技術的數年內曾屢向技術科學碩士羅日（С.А.Роз）諮詢，又在此書准备付印時，羅齊昂諾夫（Н.В.Родионов）提供了不少寶貴意見，著者均十分感激。

現在的工作一定還有不少缺點。作者對任何意見均表歡迎，意見請寄到列寧格勒城。В.О.第二十一路，二號，矿业学院，水文地质和工程地质講座。

羅姆他捷（В.Д.Ломтадзе）

目 錄

第一章 概論

1. 土壤.....	1
2. 土壤分類.....	3
3. 採選土樣以決定其物理力學性.....	6

第二章 求土壤的級配

4. 土壤級配的決定方法.....	17
5. 顆粒分析前的土樣準備.....	18
6. 以篩分法求土壤的級配.....	19
7. 以沙邦林法求土壤的級配.....	21
8. 以移液管法求土壤的級配.....	27
9. 以混合法求土壤的級配.....	33
10. 以觀測法求土壤的級配.....	35
11. 以魯特科夫斯基法求土壤的級配.....	36
12. 以比重計法求土壤的級配.....	40
13. 土壤級配的圖表法.....	48

第三章 土壤的物理性質及其天然狀態的測定方法

14. 土壤物理性質與天然狀態的基本指標.....	54
15. 求比重.....	66
16. 求單位體積重量.....	67
17. 求土壤的含水率.....	73
18. 求土壤的塑性界限.....	74
19. 求砂土的相對密度.....	79

第四章 土壤基本水性的測定方法

20. 土壤水性中的基本指標.....	81
21. 求濕化速度.....	83
22. 求膨脹的大小.....	84
23. 求收縮量.....	87
24. 求飽和水量.....	87
25. 求最大分子吸水量.....	89
26. 求散水量.....	91
27. 求毛細上升高度.....	91
28. 滲透係數的決定.....	93

第五章 土壤力學性試驗

29. 土壤力學性質中的基本指標.....	123
30. 求壓縮係數.....	129
31. 測定黏土類土壤潤濕時的膨脹力.....	142
32. 內摩擦係數和黏聚力的決定.....	142

第六章 土壤的礦物和化學成分的決定方法

33. 土壤的礦物成分及其測定法.....	158
34. 土壤交換陽離子的組成.....	164
35. 土中的水溶性化合物.....	165
36. 求土中有機物的相對含量.....	167

附 錄

1. 比重計校正指導.....	168
2. 水的密度表.....	171
3. 水隨溫度而異的黏滯度.....	172
4. 溫度校正表，根據普阿耶里.....	172

5. 比重計讀數的溫度校正表.....	173
6. 斜面坡度表.....	174
7. 以馬斯諾夫—吳拉斯基儀作剪力試驗時，試樣傾斜一定角度所需垂直荷載 P 的計算表.....	175
8. 土壤物理力學性質試驗總表.....	185
9. 土壤物理力學性質試驗報告.....	186

俄 華 專 門 名 詞 對 照 表

第一章 概 論

1. 土 壤

在工程地質的應用上，凡組成地殼上部及從建築工程的觀點上研究的任何岩石，不論其為鬆軟的或是石質的（火成岩、變質岩及水成岩），都叫做土壤。對場地和建築物的穩定性作工程地質的估計時，以及為實現加強其穩定性的措施時，我們都需要能够代表土壤物理力學性的資料。後者不但對建築物基礎或其周圍的土壤是需要的，且在修建泥土建築物時，作為建築材料的土壤也是需要的。所以在作工程地質的調查時，研究土壤的物理力學性顯然是必要的。

土壤的穩定性和強度，即對大氣或工程建築物荷載作用的抵抗能力，係由土壤的來源和其以後的環境如何來確定。因之，土壤的穩定性和強度之決定特性如下：

- 1) 土壤內部黏聚性的存在和這些黏聚性的性質；
- 2) 土壤與水之關係；
- 3) 土壤的主要技術性質。

根據這些特性所有土壤可分為：1) 石質的⁽¹⁾，2) 半石質的⁽²⁾，3) 柔軟黏聚的，4) 疏鬆非黏聚的，5) 成分、狀態或來源特殊的土壤。岩石類和半岩石類土壤是最硬、最強和最穩固的，從工程地質的觀點言是最完善的。在估計這些土壤的性質時，主要須靠普通地質和岩石學的研究方法。成分或狀況特殊的土壤（泥土的、腐植的、綜合的、含鹽性的、水量飽和與凍結的土壤等等）具有不同的物理技術性質，從建築的觀點而言是最弱的土壤。在作工程地質的估計時，對它們是需要用特種接近法和專門研究的方法。

柔軟黏聚性的（黏土）和疏鬆非黏聚性的（砂礫）土壤分佈最廣。在地質的實用上它們通常是連成一鬆軟的堆積體（土壤）而代表各種原始形成類型的組合體。就是說地殼上部幾全為這類土壤造成。民用和工業的建築及進行鬆軟土壤的，各

（1）塊狀結晶的火成岩、塊狀和成層結晶的變質岩以及水成膠結岩。

（2）風化和開裂到某程度的岩石或略帶膠結物的水成岩。

種改良工作（排水、灌溉、防止坍方和沉陷現象等）都是常常遇見的。鬆軟土壤就是研究土質學和土壤力學的主要對象。本書將把鬆軟土壤（譯註：以後簡稱土壤）的基本物理力學性的求法加以闡述。

土壤的物理力學性質常以相應的特性表示之，其中包括：

1. 代表土壤組成的特性：

- 1) 級配；
- 2) 礦物組成；
- 3) 土壤，水和鹽酸溶解出的化學成分；
- 4) 吸收量；
- 5) 吸收陽離子的組成。

2. 代表土壤性質者：

a) 物理性：

- 1) 比重；
- 2) 單位體積重量；
- 3) 乾土單位體積重量；
- 4) 孔積率；
- 5) 空隙比；
- 6) 塑限；
- 7) 液限；
- 8) 塑性指數。

б) 水性：

- 1) 抗水性（濕化、膨脹、收縮，水溶性化合物的含量）；
- 2) 漏容量；
- 3) 毛細作用；
- 4) 透水性。

в) 力學性：

- 1) 抗壓強度；
- 2) 抗剪強度。

3. 代表土壤狀態者：

- 1) 天然含水率；
- 2) 飽和度；
- 3) 密度（砂的）；
- 4) 天然壓實度（黏土的）；

5) 天然稠度。

代表土壤成分的特性可以表示土壤的天然性，物理力學性，並可以大概判定這些性質和在建築物修造時或工程進行時土壤狀態的可能變化。還可以把土壤分成類別並確定選擇研究土壤性質和狀態之方法。這些特性通常是屬於分類這一方面。

物理性和一部分水性可以把作為建築物基礎、圍繞物或材料時的土壤，從品質上來估計它的強度和穩定性。此外還可以間接判定土壤在天然地層中的狀態。這些特性通常是屬於品質這一方面。

土壤的力學性和一部分水性（透水性）可以直接應用於各種工程的計算，例如，計算建築物沉陷的大小和時間，斜坡的穩定性，塊狀岩的強度，求土壤施與擋土牆或地下掘坑的壓力大小，求滲透時水的損失量或流入建築物中的水量等等。

這些特性可以把土壤性質間的相互關係表示出來，以作為計算的根據，即壓力與空隙比之關係，滲透速度與水力坡度之關係及壓力與抗剪強度之關係等。通常它們是屬於計算特性這一方面。

所有列舉的特性可以在特別工地或在固定的工程地質實驗室中決定之。求這些特性的方法和程序以及主要的試驗設備已知者實在不少。但本書僅採用1940年全蘇建築土壤試驗會議所規定的方法和設備。

2. 土壤分類

土壤（砂和黏土類）為岩石及礦物碎粒的集合體，大小由數公分至一公厘的幾百分之一或幾千分之一。土壤按級配，即按一定尺寸的顆粒量分類時，可分為以下各成分（表1）。

在自然條件下，土壤僅由一種成分組成者很少，在大多數情況下均係由多種成分的混合物組成。

最簡單的分類就是把土壤分成黏土類土壤（柔軟黏聚的）和砂類土壤（疏鬆非黏聚的）。黏土類土壤徵象為其組成中含有高度的黏土成分。黏土具有黏聚性（顆粒間的黏聚），有比較大的壓縮性和塑性以及小的透水性。

砂類土壤含黏土成分甚小，無黏性，非塑性，質地疏鬆，透水性高。塑性指數為進一步區分黏土類土壤的另一特性。

黏土類土壤的塑性指數可分為如表2中所列的各等級。

級配是土壤分類的基本特性，級配的意義是指土壤組成中黏土、粉土、

砂和礫石各成分的含量。在工程地質的實用上最通用的分類法如表 3 — 6 中所列。

表1 土壤成分的分類

成 分 名 稱	尺 寸 (公厘)	成 分 名 稱	尺 寸 (公厘)
漂 石 (圓磨的)	230	圓 礫 (圓磨的)	2—20
塊 石 (稜角的)		角 礫 (稜角的)	
細 漂 石 及 塊 石	100—200	粗 砂	1—2
粗 卵 石		中 砂	0.5—1
細卵石 (圓磨的)	20—100	細 砂	0.25—0.5
碎 石 (稜角的)		極 細 砂	0.05—0.25
		粉 土	0.002—0.05
		粘 土	<0.002*

表2 黏土類土壤按塑性指數的分類

等 級	土 壤 按 塑 性 的 特 征	塑 性 指 數	土 壤 名 稱
I	高 塑 性	>17	黏 土
II	中 塑 性	17—7	砂 質 黏 土
III	低 塑 性	<7	砂 質 壤 土
IV	非 塑 性	0	砂 土

表3 土壤基本類型的分類

土 壤 名 稱	重 量 百 分 比			
	黏 土 < 0.002公厘	粉 土 0.002—0.05公厘	砂 0.05—2公厘	礫 石 2—20 公 厘
重 質 黏 土	>60	} 小於砂之含量	} 大於粉土之含量	} <10
黏 土	30—60			
重 砂 質 黏 土	20—30			
中 砂 質 黏 土	15—20			
輕 砂 質 黏 土	10—15			
重 砂 質 壤 土	6—10			
輕 砂 質 壤 土	3—6			
砂 土	3			

*近來土粒在水中沉降的速度多根據史脫克斯 (Стоис) 公式計算，因之，黏土成分的顆粒直徑應在0.002公厘以下，由史氏公式求得的0.002公厘之顆粒相當於由沙邦林 (Сабанин) 公式求得的0.005公厘之顆粒。

表4 粉土質土壤的分类

土 壤 名 称	重 量 百 分 比			
	黏 土 < 0.002公厘	粉 土 0.002-0.05公厘	砂 0.05-2 公 厘	礫 石 2-20 公 厘
粉土性黏土	>30	大於砂之含 量	小於粉土之 含量	<10
重粉土性砂質黏土	20-30			
中粉土性砂質黏土	15-20			
輕粉土性砂質黏土	10-15			
重粉土性砂質壤埴	6-10			
輕粉土性砂質壤埴	3-6			
粉土性砂土	< 3			

表5 砂类土壤的分类

土 壤 名 称	重 量 百 分 比			
	1-2 公 厘	0.5-1 公厘	0.25-0.5公厘	0.05-0.25公厘
粗 砂	>50	—	—	—
中 砂	—	>50	—	—
細 砂	—	—	>50	—
微 砂	—	—	—	>50

表6 礫石类土的分类⁽¹⁾

土 壤 名 称	重 量 百 分 比	
	礫 石 2 —20 公 厘	砂 0.05 — 2 公 厘
礫石土	小於砂或粉土一黏土之含量， 單獨考慮 (10-50)	大於粉土及黏土之含量
含砂礫石	大於砂或粉土一黏土之含量， 單獨考慮	
含粉土礫石	33-50	小於粉土及黏土之含量
礫 石	>50	大於粉土及黏土之含量

如果知道土壤的矿物組成、等級和含鹽性質（見第四章），則對於土壤性質的研究，尤其是黏土類，是有很大的價值的。

(1) 適用於礫石含量>10%的土壤分類。

3. 採選土樣以決定其物理力學性

近來土壤在工程地質方面認為是一個多種形態的系統，包括礦物顆粒、水和空氣。礦物顆粒為土壤的基本組成部分，成為土壤的骨幹。水和空氣則填充於顆粒間或土壤的孔隙中。根據土壤潮濕程度的不同，可能有如表 7 中所列的各種狀態。

所以，根據孔隙中含水率的不同，土壤不外乎是僅含空氣，或僅含水，或空氣和水同時存在等狀況。在若干情況下孔隙中的水可能變為固體（冰）。因之，土壤可認為是一個雙相、三相或四相的系統。上述土壤組成要素在天然地層中造成一個極複雜的系統，在實驗室裡不可能再產生同樣的狀況。所以必須在工地或在實驗室中以未破壞天然構造和天然含水率的土樣（保持土粒天然相互間的排列和含水率的整塊）來研究它們的性質。

表 7 土壤隨含水量而異的物理狀態

土 樣 狀 況	充 填 孔 隙 水 量	相 的 數 目	相 的 名 稱	相 的 集 合 狀 況
風 乾 ⁽¹⁾ 的	無水（土壤可能僅含吸着水分）	2	固體—空氣	固體+氣體
微 濕 的	部分的，不多	3	固體—夾水—空氣	固體+氣體+液體
濕 的	部分的，很多	3	固體—夾氣—水	固體+液體+氣體
飽 和 的	充分	2	固體—水	固體+液體

原狀土樣可在試坑、水平坑道、豎坑、天然露頭及鑽孔中採取之。由鑽孔中取得的樣品常多少有些擾動，故採樣時須使用各式的取土器。在掘坑（試坑和坑道等）中可用金屬或木製的立方體盒以代替取樣器，盒的底與蓋可以移去。在黏性很高的土壤（黏土，砂質黏土）中常可不用取土器與方盒。

在開敞試坑中及在天然地面上採樣

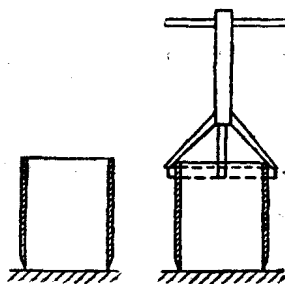


圖 1 金屬取土筒 圖 2 帶手把的金屬取土筒

(1) 在實驗室中土壤熱至 105°—110° C 時，就可以變成恒重狀態。

所用的取土器爲一直徑由40—50至120—150公厘，高由20—30至200公厘的圓筒，切刃向一邊傾斜（圖1）。爲取土方便計，筒頂常套上一特殊手把（圖2）。用此筒取樣時，其步驟如下：在坑中需要深度處，於新清理的土面上放置圓筒。次以尖刀切成比筒內徑大1—1.5公厘的土柱。一面切一面將土柱上的圓筒徐徐下壓。如此多餘土壤被筒刃切去。但不許由土柱旁面把土切掉。當筒內土柱高出筒頂時，表示土柱已填滿筒內，最後將筒上下兩端的多餘土壤切去。

用木盒或金屬盒取樣時，方法亦相似。但用木盒時，因用木盒盒邊切土是比較困難的，土柱必須切成與盒內部的尺寸恰好一樣大小。

取得土樣應立即封以石蜡。當使用取土筒或方盒時，僅開口面封蜡，即將筒或盒的上下面先後浸於熔蜡中。如蜡面有氣泡出現，可用熱針刺之，並重新沾蜡。

每一土樣應以籤條註明取樣地點、時間與樣品的上下面，並登在記錄簿上，送至實驗室。

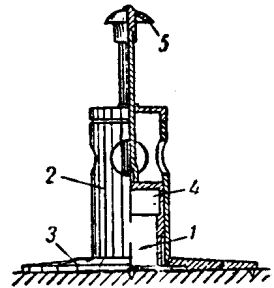


圖3 李特溫諾夫取土器

採取柔軟土樣時，建議用李特溫諾夫（И. М. Литвинов）取土器（圖3）。器包括切筒1，方向筒2，墊盤3，空活塞4及推桿5。

用李氏儀器採選原狀土樣時，方法如下：當掘坑達需要深度時，將儀器放在新清理的土面上。按動推桿5，則置於空活塞4內的切筒1往下移動。盛土切筒下掘而以刃口切土，次由空活塞中取出切土筒，將筒下邊的土壤刮平。

用李氏儀器取樣時，必須準備一套切土筒。

在鑽孔中採取原狀土樣所用的取土器，種類很多。取樣器的基本部分就是金屬圓筒，取土時筒可以被壓入、鑽進或夯入鑽孔土壤中。最簡單及最實用的原狀土樣取土器如圖4所示。

斯克里卜科（Скрипко）二號取土器（圖4）由圓筒組成，筒下端有切刃。筒上端以導筒扭住，導筒下端有一孔，可被鋼球塞住。球上裝一可在導筒內自由滑動的棒。棒上又裝一螺簧，簧可從上面用導圈壓縮。導筒又與鑽桿相連。取樣時將筒壓入土中。如果鑽孔中有水，則經過球瓣排出，爲了保證當取土器提起時筒內的真空，則以彈簧加強之。筒中土樣可藉木活塞推出。這種取土器適用於從天然含水率大於35%的泥土及黏土中採取原狀土樣。

莫斯科夫茲（Московец）取土器（圖4）由鐵管、鞘筒、木塞、活瓣及導件（過渡段）等組成。採樣時將取土器壓入已清理的鑽孔中。當取土器提起時，活門關閉，形成真空，以阻止土樣及水的流出。筒中土樣可用特製木活塞推出。此種

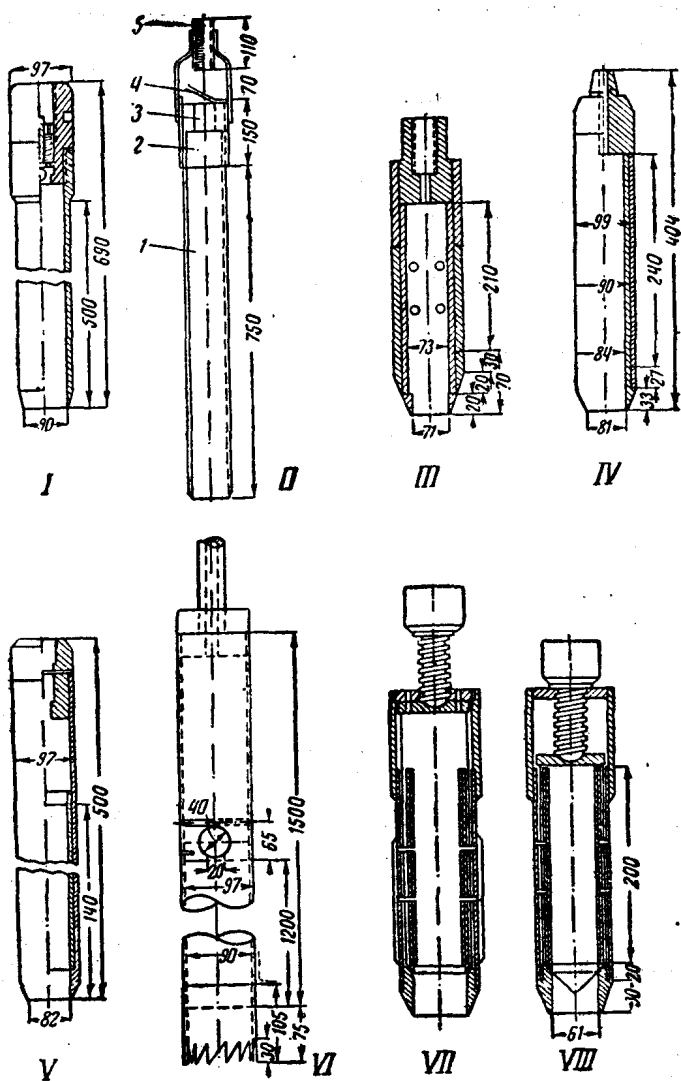


圖4 鑽孔採取原狀土樣的取土器

I—斯克里卜科二號取土器，II—莫斯科夫茲取土器，III—模型A-1取土器
(ВОДГЕО)，IV拉錫取土器，V—斯克里卜科三號取土器，VI—沙哈列夫取土
器，VII—匯-B式取土器 (ВОДГЕО)

取土器適用於從天然含水率大於35%的軟泥土和黏土類中採取原狀土樣。

模型〔A—1〕取土器（ВОДГЕО）（圖4）由下列各件組成：圓筒，依直徑平面分成兩部分，兩端有絲扣；靴刃，其上端擰在圓筒上；鞘筒，用以連接取土筒和鑽桿；襯筒，置於圓筒內面，用以承受土樣。

取樣時將筒壓入鑽孔中。當取土器提到地面上後，將圓筒拆散，取出襯筒連土樣，並將蓋套上。此種取土器多用以採取天然含水率為25~35%的黏土、砂質黏土、砂質壤土及黏土質含水砂土等土樣。

拉錫（Паш）取土器（圖4）由四部分組成：頭部、圓筒、筒靴及樣筒。取土器頭部的兩端有絲扣，以作為由取土管至鑽桿的導件。銅製樣筒由二對稱的半筒組成，置於取樣器的軀體內，樣筒一端靠在筒靴上，他端與擰上的頭部緊接。筒靴成切圈或齒冠形。筒靴的內徑較樣筒內徑小1—2公厘。這可使取土器易於插入土中。

以帶筒靴的取土器採取原狀土樣的方法如下：將取土器連同鑽桿自2—3公尺的高度向下投入孔中或壓入土中，轉動鑽桿，則取土器藉筒靴之助即可鑽取樣品。把筒靴旋下後，將樣筒連同土樣自取土器中拔出。這種取土器多適用於含水率為25—35%的土壤以及含水率小於25%的過壓土壤。

斯克里卜科三號取土器（圖4）由外管、筒靴、二分筒及導件等組成。二分筒由二對稱的半筒組成，裝於外管內。外管下端扭上筒靴，靴尖削成20°的角度。靴的內徑比二分筒的內徑小1—2公厘。外管上端接導件，導件內的孔可被自由臥着的鋼球從上塞住。球被釘保護不使壓下。導件與鑽桿相連。取樣時將取土器壓入已被清洗的鑽孔中，轉動鑽桿即可由土體中採取原狀土樣。當取土器從灌水的鑽孔中提起時，球造成器內的真空，以防止土樣由筒內墜下。樣筒用下法取出：旋下筒靴，將二分筒連土樣拔出。這種取土器適於採取含水率為25—35%的土樣。

沙哈列夫（Захарьев）取土器（圖4）由薄壁圓筒、靴、冠、蓋、導件及球等組成。直接轉動鑽桿取土器即會鑽入土中。土樣用下法取出：先由圓筒上旋下筒靴，次用特製木活塞將土樣自筒中推出。這種取土器適於在天然含水率小於25%的特別密實土壤中採取原狀土樣。

B式取土器（ВОДГЕО）（圖4）由下列各部組成：外筒；內筒；帶圈的中間筒；圈由薄鋼板作成，用來閉塞取樣器的下孔；靴刃；取樣器之頭部；有條形絲扣的螺旋，用以連接鑽桿與取土器；有環形凹陷的橫臂，臂與中間筒之邊緣符合，以及插入的樣筒。

取樣時如果井中無堵塞，可將取土器壓入土中。轉動鑽桿就連帶引起取土器頭