

土壤力學地基及基礎

丘勤寶 屈智炯 編著

中國科學圖書儀器公司

出版

土壤力學地基及基礎

丘勤寶 屈智炯 編著

中國科學圖書儀器公司
出版

內 容 提 要

本書根據多種蘇聯有關土壤力學和基礎工程書籍中的先進資料編寫而成，體系完整，理論與實際完全一致。書中所舉的設計實例均符合目前政府業已採用的蘇聯規範和標準。

全書共分十一章，詳述土壤分類、應力分佈、沉陷、承載、土坡穩定、土壤壓實、土壓力、淺基、深基、人工地基和樁基、大孔土地基、機器基礎和地震區基礎等。

本書最適合大學土木及水利工程系科作為教學用書，亦可供實地工作的工程師學習先進經驗時作為參考用書。

土 壤 力 學、地 基 及 基 礎

編 著 者 丘 勤 寶 屈 智 炯

出 版 者 中 國 科 學 國 家 儀 器 公 司
印 刷 上海延安中路 537 號 電話 64545
 上海市書刊出版業營業許可證出〇二七號

經 售 者 新 華 書 店 上 海 發 行 所

★ 有 版 權 ★

CE. 76—0.15 314 千字 開本：(787×1092) $\frac{1}{32}$ 印張：18.48
定價：二元三角二分 1955 年 5 月初版第 1 次印刷 1—3,500

序

在祖國開展大規模的重工業和水利技術建設的今天，土壤力學地基及基礎已體現了特殊的重要性。許多建設工程，例如水力樞紐，隧道，道路鐵路的路基，工業建築物基礎等，大多都是建築在具有複雜的地質和水文地質條件的天然地基上，而且在許多工程中需要把天然土壤作為土工建築物的材料，所有這些就使土壤力學地基和基礎領域中的工作同志們擔負着一個新的重大而又光榮的任務。

解放五年來，在黨和毛主席的正確領導下，祖國學者和工程師們在偉大建設的實踐中，努力學習蘇聯先進知識和經驗，從事研究和解決建設中所面臨的困難問題，這就促使這門科學飛躍前進，同時由於這門科學在實踐中成功的應用也將促使祖國的社會主義建設工程更快地和更經濟地實現。

這門科學雖是年輕的科學，但蘇聯學者能在短短十多年內在這門科學中作出偉大的貢獻和取得世界上領導的地位，是與社會主義優越的制度分不開的，同時由於蘇聯學者們根據着唯物辯證法去進行這門科學的研究，因而使這門科學獲得了新的創造性的發展，例如蘇聯學者們根據地層的地理環境和其存在的自然歷史條件去研究天然黏土的性質，進而對地層內膠體化學現象及黏合水的性質作出了詳細的分析，修正了一系列的概念，確定了某些計算理論的應用範圍。我們在偉大的社會主義建設中，不僅要學習蘇聯的先進知識和經驗，而且更要學習蘇聯學者們用唯物辯證法去研究和分析問題。這樣這門科學在我們祖國必定會在實踐，認識，

再實踐的循環提高過程中不斷進步，使達到更完善地為社會主義建設而服務。

本書編寫的目的是想扼要介紹蘇聯在土壤力學地基及基礎方面的系統基本理論，以供土木、水利系各專業的土壤力學地基及基礎課程的參考書。本書內容主要是參考下列幾本蘇聯教材：

К.С. Ордуянц: Фундаменты железнодорожных сооружений,

Н.Н. Богословский: Основания и Фундаменты,

Н.А. Цытович: Механика грунтов,

П.П. Смиренин: Основания и Фундаменты.

編寫的方式主要是按照上列第一本書，但它的主要內容是地基和基礎，土壤力學部份比較簡略，我們參考了上列第三本書的材料，結合祖國建設的需要和編者在教學中的一些體會作了些擴充，把鬆散體的三個規律中的壓密定律和摩擦定律分別結合在地基的沉陷和土壤強度與極限平衡中去敘述，這是為了使土壤力學的力學性更好地連繫在地基的實際問題上，此外還把土坡穩定，土壤壓實及土壤側壓力結合在一起，突出成為一章。這是因為它們間有密切的連繫，而且在實際應用中也是不能缺少的一個重要部份，教師可根據教學大綱酌予取捨。第八章至十一章為本書的基礎工程部份。在第八章中關於基坑支撐的土壓，我們採用了捷塔略夫經驗土壓曲線代替了郎金主動土壓曲線，對於被動土壓也介紹了阿尼西莫夫所著水工建築物地基及基礎書中關於土壓最新理論係數的應用。在第十章中參考了蘇聯最新研究的成果和編者的體會，對羣樁的承載量作了些分析。在第十一章中機器基礎部份是偏重於一般概念，並根據規範編有透平發電機基礎計算的附錄 IV，以

目 錄

序.....	i
主要符號說明.....	vii
第一章 緒論.....	1-8
1-1 土壤力學的任務和內容.....	1
1-2 基礎及地基.....	3
1-3 土壤力學及基礎工程發展	
	簡史和我國在此新科學 方面的經驗和發展..... 4
	1-4 本課程的要求, 學習方法.. 8
第二章 土壤及其主要性質.....	9-43
2-1 土壤的成因及組成.....	9
2-2 土壤中的水分.....	12
2-3 土壤物理特性的基本指標 與相互關係.....	15
2-4 砂土的相對密度.....	21
2-5 黏土的稠度.....	22
2-6 土壤的顆粒分析.....	24
	2-7 土壤的工程分類.....28
	2-8 土壤的滲透性.....33
	2-9 滲透係數的測定.....34
	2-10 動水壓力; 流砂和管湧.....36
	2-11 土壤的凍結與融化.....39
	複習問題.....41
第三章 地基勘測.....	44-61
3-1 地基勘測的目的.....	44
3-2 地基勘測的種類.....	45
3-3 地基 勘測 方法——鑽探 法.....	48
3-4 觸探法.....	51
	3-5 探井法.....54
	3-6 原狀土樣採取法.....55
	3-7 地基勘測所得資料的整理 和土壤試驗的報告.....57
	複習問題.....60
第四章 地基中壓應力的分佈.....	62-86
4-1 概說.....	62
4-2 基礎底面的壓力分佈 ——接觸壓力.....	63
4-3 基底下土壤中應力.....	67
4-4 集中荷重下半無限體中應 力.....	70
	4-5 面荷重下半無限體中應力..73
	4-6 土壤中壓力分佈的近似法..81
	4-7 土壤的自重應力計算.....84
	複習問題.....85

第五章 地基的沉陷.....87-127

- | | |
|--|---------------------------------|
| 5-1 總論.....87 | 5-7 施工時期沉陷曲線的決定 116 |
| 5-2 土壤的壓縮性，壓縮係數...88 | 5-8 沉陷與壓縮時間的近似方法..... 118 |
| 5-3 土壤無側伸縮時，用 $e-p$ 壓縮曲線估計地基沉陷量方法.....91 | 5-9 用換算層計算最終沉陷量的方法..... 119 |
| 5-4 有橫向變形時，用 Виос法決定土層的最終沉陷量...94 | 5-10 計算沉陷、許可沉陷及許可沉陷不均勻..... 125 |
| 5-5 地基總沉陷量的計算.....96 | 複習問題..... 126 |
| 5-6 沉陷與時間的關係..... 101 | |

第六章 土壤的強度、承載量與地基的穩定..... 128-172

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 6-1 土壤的抗剪強度..... 128 | 定地基的承載能力.... 143 |
| 6-2 莫爾應力圓及其對土壤應力的應用..... 131 | 6-7 根據規範決定土壤的承載能力..... 155 |
| 6-3 剪力試驗..... 135 | 6-8 計算沉陷與許可沉陷的比較方法..... 159 |
| 6-4 承載能力與地基穩定的概念..... 139 | 6-9 工地荷重試驗..... 162 |
| 6-5 塑性平衡區的發展及臨塑荷重..... 141 | 6-10 基礎砌置深度的決定.... 164 |
| 6-6 從塑性平衡的臨界荷重決 | 6-11 基礎的設計步驟..... 169 |
| | 複習問題..... 171 |

第七章 土坡、土壤的壓實及土壤側壓力..... 173-238

- | | |
|---------------------------------|------------------------|
| 7-1 土壤的穩定..... 173 | 7-9 填基的分層壓實方法及工 |
| 7-2 瑞典法或分段法..... 174 | 地土料水分和密度的控制..... 198 |
| 7-3 瑞典法的圖解..... 180 | 7-10 擋土結構上的土壓力.... 207 |
| 7-4 ϕ 圓法——台氏圖解法... 181 | 7-11 耶金土壓理論..... 208 |
| 7-5 郭磊德許建教授方法.... 188 | 7-12 庫倫理論..... 219 |
| 7-6 滑坡壓力的決定..... 192 | 7-13 庫倫理論圖解..... 224 |
| 7-7 土壤壓實對土坡和土工建築物穩定的重要性.... 194 | 7-14 黏性填土的圖解法..... 231 |
| 7-8 最大密度與最優含水量的壓實理論..... 195 | 複習問題..... 237 |

第八章 天然淺基的設計與施工..... 239-292

第一章

緒論

1-1 土壤力學的任務和內容 我們人類生活在地球上，凡有關我們福利的一切建築物都不能超越地面。建築物有的如房屋、橋梁和水工結構物等是建在地面，有的如隧道、涵溝等是建築在地下，有的如壩堤、壩基等則是用土築成的，所以沒有一個完整的土木和水利工程不和土壤、岩石直接發生關係，也沒有一個完整的土木和水利工程不需要可靠的土壤資料來決定設計和施工條件的。

岩石具有很大的強度，對於建築物的性能可用理論力學的法則確定。但土壤不是連續體而是由許多單獨固體顆粒組成的鬆散體，易壓縮，易被水滲透，且顆粒間易互相移動而生摩擦力。同時土壤又是一種很複雜的物質，由於生成原因、運積情形、組織成份以及含水多寡的不同，性質也隨之有很大的變化。因此，在天然地層中，決難找到兩處性質完全相同的土壤，即使在同一土層中，相距數尺，其性質亦可能有很大的差異，故對土壤的性質，必須經過科學的試驗、研究和瞭解，才能保證建築物安全而不致遭到意外的損失。

土壤力學就是運用理論力學的法則（彈性、塑性及流體規律）及實驗方法所確定的關係（壓密、滲水及摩擦等定律）去研究和解決土壤與工程有關問題的一門科學，例如土壤對建築物和基礎的一切物理與力學性質，以及土壤受荷重情形下內部所發生的各種反應和作用等。但土壤力學的主要任務是研究鬆散顆粒體規律，土

壤受外力後引起變形及平衡的規律而應用於基礎、堤壩、土工結構、擋土結構、公路、鐵路、機場、隧道等的設計與施工。故土壤力學的內容爲：

(一) 土壤的特性問題：

- (1) 土壤的物理性質，壓縮，滲透及摩擦定律；
- (2) 土壤的鑑定；
- (3) 土壤特性的試驗方法。

(二) 應力與變形問題：

- (1) 壓應力的分佈；
- (2) 建築物的沉陷；
- (3) 填土及土壩的變形；
- (4) 擋土建築物側向壓力分佈及位移；
- (5) 隧道及涵洞的壓力分佈。

(三) 平衡問題：

- (1) 土坡的穩定；
- (2) 擋土牆及擋土板樁的土壓；
- (3) 明塹支撐土壓；
- (4) 基腳、樁、公路及機場跑道的承載量。

近二三十年來由於大型土木水利工程的发展，土壤力學亦跟着發展成爲有系統的新科學，但有許多問題還未能解決，而且有許多結論和原理，在現階段還是有條件的，應用在實際計算中，祇能得到近似的解答。這是因爲我們目前還沒有完善的方法解決土壤中複雜的膠體化學作用，而還祇能把土壤視作顆粒組成的“粒骸體”的緣故。由於近代結構物施於基地的荷重在逐漸提高中，迫使我們需要深入研究和試驗土壤的物理和工程性質，從而研究如何利

用人工方法去處理土壤和改變土壤性質，以適合實際工程的特別需要。

1-2 基礎及地基 任何建築物都得砌置在地上，而基礎是建築物的一部分，用來承受上部建築物的重量和作用的荷重，並把它們安全地傳佈到下面的地層中去。承受全部建築物重量及其上面荷重的基礎下的全部地層，叫做地基。圖 1-1 示一個建築物的基礎

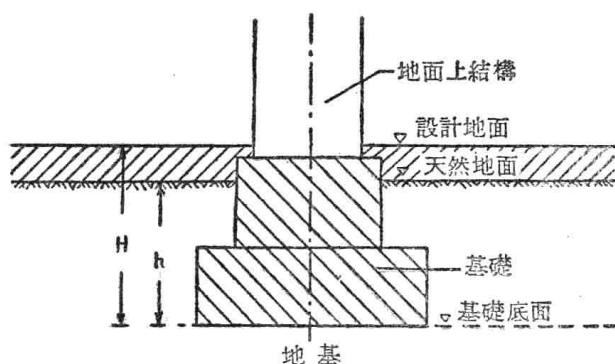


圖 1-1 基礎及地基

和地基佈置圖。天然地面往往與設計地面不在同一水平面上。若 H 為設計地面至基底的深度， h 為天然地面至基底的深度，則實際上可能有下列三種情形：

- (1) $H > h$ ，施工時必須填土；
- (2) $H < h$ ，施工時必須挖土；
- (3) $H = h$ ，設計地面與天然地面相合。

基礎和地基的設計和施工，在一般情形下，大概是按照下列程序進行：

1. 在施工地點作地質及水文地質的研究，以明其下地層和地下水的情形。

2. 施工地點土壤的試驗研究,例如土樣的分析、荷重試驗等。
3. 根據施工地區地質、水文地質和地基土質的物理、工程性質等資料,選定基礎的砌置深度、地基的體系、許可壓力和施工方法。
4. 基礎及地基的設計。
5. 基礎和地基的施工。

圖 1-2 示土壤力學地基及基礎與其關於工地應用的概要,由此可更清楚地說明土壤力學及基礎的關係與其相互作用。

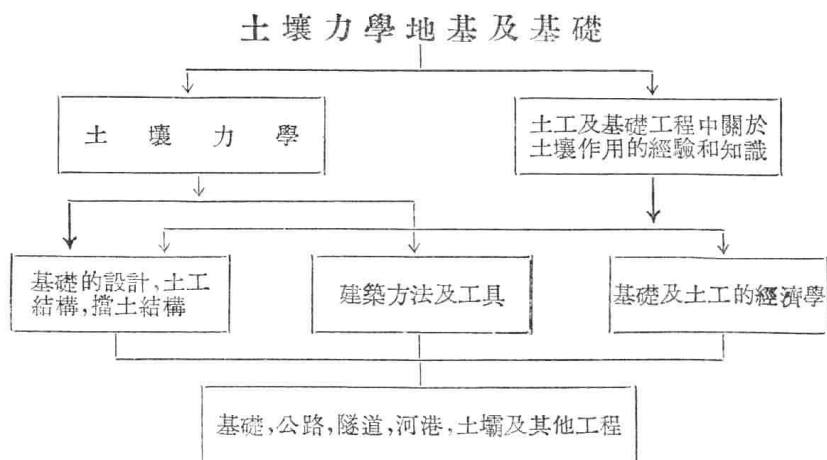


圖 1-2

1-3 土壤力學及基礎工程發展簡史和我國在此新科學方面的經驗和發展 遠在 1773 年,庫倫⁽¹⁾便發表了土壓力和土壤的抗剪強度的理論,其後郎金⁽²⁾於 1875 年相繼發表了著名的土壓理論,這兩個理論稱為古典土壓力理論。在 1869 年俄國便有了很好的卡洛維幾⁽³⁾所寫的地基和基礎專書,庫舊莫夫⁽⁴⁾教授在 1889 年使用模型研究基礎下陷時地基內土粒移動情況。1917 年格爾塞萬諾

(1) Coulomb

(2) Rankine

(3) Карлович

(4) Курдюмов

夫⁽¹⁾教授的著名打樁公式發表，有着特殊的貢獻。到了 1925 年泰沙基⁽²⁾的德文土壤力學出版，土壤力學便漸發展為重要的科學了。當時歐美學者卡沙卡蘭德⁽³⁾、柯格臘⁽⁴⁾等對土壤力學及基礎工程曾有過卓越的貢獻。可是十月革命以後，隨着社會主義建設的蓬勃開展，土壤力學及基礎工程方面的成就是很偉大的，蘇聯學者對於土壤科學的發展是有着決定性的貢獻，格爾塞萬諾夫教授在 1931 年發表的名著“含水土體動力學原理”，奠定了土壤力學新的部門的基礎，茨多維赤⁽⁵⁾教授的永久凍土力學原理和阿別列夫⁽⁶⁾的大孔性土壤力學理論，在其他各國的著作中是找不到的。俄國是鋼筋混凝土和木質沉箱的發源地，蘇聯在沉箱施工的保安技術上的成就是資本主義國家所做不到的。關於特殊基礎和人工地基方面，蘇聯更是居於領導地位的。由以上發展簡史說明，蘇聯學者在土壤力學及基礎方面的巨大成就，如同在其他科學部門一樣，是與他們使用唯一科學的唯物辯證方法從事科學研究的特點分不開的，是與蘇聯優越的社會主義制度分不開的。

在文化悠久的偉大祖國，智慧勞動的祖先，在建築方面和土工方面早就有着偉大的創造。遠在二千五百年以前，我國歷史就有隧道建築的記載，“自平地下斜，以入塋壙者，天子之葬用之。”這雖是農奴統治階級——皇帝陵墓防盜竊的地下建築，但這是我國古代人民對地下建築的創作。我國古代人民對於地面建築工程的偉大創造更是世界聞名，著名的萬里長城、首都的古宮、天壇，和分佈全國各地的古代建築和橋梁，都證明我國勞動祖先在這方面的鉅大成就。

(1) Н.М. Герсезанов

(2) Karl Terzaghi

(3) A. Cassagrande

(4) F. Kögler

(5) Н.А. Цытович

(6) Ю.М. Абелев

在水利工程方面利用土壤的成就更足以說明我國古代人民對於土工有豐富的知識和經驗。早在二千多年前，就已經在旱潦和航運阻礙的鬥爭中，表現了開鑿渠道、建築堤壩等優良技術。有名的大運河工程是公元前五世紀就開始的。另外一條古老（公元前三世紀）而富有意義的運河，位於廣西興安附近，聯絡湘桂二江，也是連接長江和珠江流域水運交通的樞紐。運河長 30 里，設 36 個陡門，蓄水行舟，包括許多複雜的土方工程。又如公元前三世紀，歷史著名的灌溉渠道鄭國渠，長三百多里，引導涇水用來灌田。

此外在防洪築堤方面，我國很早就有過偉大而輝煌的成就，其中分層夯實的築堤技術，更是古代勞動人民的智慧與經驗的寶貴總結。

近百年以來，我國在封建制度和帝國主義雙重壓迫之下，科學技術進展甚緩，尤以土壤力學為甚，更因反動政府的不加重視，技術上完全依賴各帝國主義國家，而一般學者祇知盲目的學習歐美資產階級的一套，理論與實際脫離。解放後在偉大的中國共產黨和毛主席領導下，全國各方面的建設都在突飛猛進，在經濟建設和國防建設方面更是獲得了輝煌的成就。在政府重視下，土壤科學有了巨大的發展，而且隨着大規模建設的需要，在技術上完全接受了蘇聯關於土壤技術的先進經驗和知識，土壤力學和基礎科學有了很大的進步。如大家所熟知的偉大治淮工程中的潤河集分水閘工程，由於蘇聯專家的建議，利用浮筏基礎和上游黏土鋪底代替了基樁和板樁，不但節省了很多的費用（節省 10 公尺長木樁萬餘根及以千噸計的鋼板樁），而且還大大地縮短了施工時間。其他如築壩、建閘、修路、築港、建廠的許多工程中，我們都可以看到採用蘇聯先進技術和在蘇聯專家的幫助下得到了輝煌的成就，為國家節

省了巨大的財富。

但是在另一方面，祖國大規模建設的時候，“有許多未經勘查即行設計的工程，不是造成返工浪費，就是造成質量事故。如錦州紡織廠清花車間的建築工程，沒有進行地質勘測即進行設計，到建築物造成後向下沉陷，無法安裝機器，再去研究土的性質，才發現這裏原來是遇水就下沉的大孔性土。 勘查資料不正確，也同樣會造成嚴重的錯誤。 如機械十一廠的鑄工車間工程，由於工程地質人員忽視了下臥層軟土的存在，作設計基礎時採用了不安全的耐壓力，結果不得不將若干基礎毀掉，將若干基礎加大，將鋼筋混凝土梁改為鋼梁，即造成很大浪費，又使竣工日期推遲了好幾個月。施工部門不按照地質情況施工，結果也是一樣的。 如哈爾濱工業大學的主樓是六層的建築物，經勘測後，已判明該地是二級下沉性大孔土，設計者在施工圖上也強調了在建築期間必須防止水的浸入，但施工部門沒有重視這個意見，沒有採取任何防水措施，基礎建好後也沒有及時回填土，在暴雨期間基礎坑內積滿了水，結果房子建成不久就裂了很大的縫”。（人民日報 1954，1，28）。這些事例都說明了無論是從事地質工作、設計工作或是施工工作的人，如果對工程地質稍有疏忽大意，都將給基本建設造成重大的損失。

中央人民政府財經委員會有鑒於此，曾及時公佈了關於基本建設進程序的規定：沒有調查研究，不得進行重要的基本建設。後來又成立地質部，許多產業部門也相繼成立了地質勘測和土工試驗機構。

無疑地，由於今後我國進行規模偉大的基建工程，以及各建築區域中在各種情形下的複雜地質條件，使地基及基礎技術面臨着新的和重要的問題，我國土壤力學研究者和科學工作人員藉蘇聯專

家和學者無私的幫助，不但能勝利地解決複雜的土壤建築技術問題，而且經過實踐、認識、再實踐的循環提高過程，這土壤建築技術必定會突飛猛進。

1-4 本課程的要求、學習方法 本課程的目的，是在使學生認識土壤的物理性質與鬆散體規律，和試驗這些特性的操作方法，並了解如何探測地基和土壤分類，使學生基本上能掌握土壤力學原理，作地基和基礎的設計和施工。

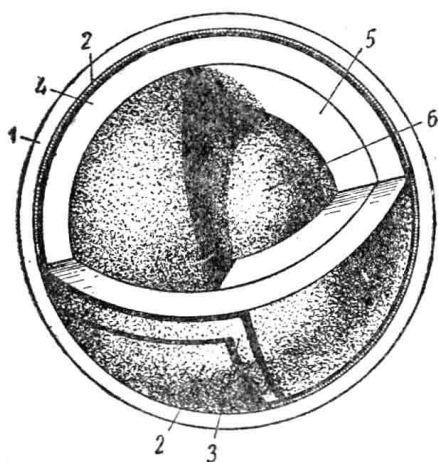
學習這門課程的時候，我們必須知道它是多面性的，它的內容涉及地質學、材料力學、建築力學和施工技術等課程。因時間和能力有限，不可能每一門有關的科學都深入鑽研，對於已經證實了的理論和規律不必要求費很多的時間去證明它。我們首先要掌握重點和基本概念，然後細節深入。

在生產活動中，擺在工程師面前的技術問題是各式各類的，因此學生在學校期間想要把所有的問題通過講課教材和各種不同的練習課程都得到解決，是完全不可能的。科學和技術是在不斷的發展着，在崗位的工程師應該善於獨立地掌握一切關於自己專業的最新科學成果。要做到這點，學生在學校裏的時候，不僅要掌握有限的解決實際問題的方法，而且要能夠掌握系統的理論才行，尤其是要學會善於獨立地利用理論和知識來解決實際問題的能力，而不是機械搬用這些知識來解決某些問題。也就是說不祇是簡單地記住理論的結論和原理，而要深刻地了解它，把它變成自己的活的知識。

第二章

土壤及其主要性質

2-1 土壤的成因及組成 地球的構造，大致可分為大氣層、岩石圈層、玄武岩石圈⁽¹⁾、重質岩漿介層、地心外殼層、鐵鎳質地心⁽²⁾等，如圖 2-1 所示。岩石圈層就是普通所稱的地殼。地殼為各種岩石如火成岩、水成岩、和變質岩等所組成。岩石又是各種礦物質的混合體。地殼外層的岩石受到地球內部的各種內力如熱力、斷層、褶曲、火山等作用的影響，另一方面受到外界天然能力如水力、風力、冰力、冷熱、氧化、炭酸、水化及生物等的機械和風化作用，時時在分解破碎，有的隨水流、冰川、烈風而轉移，有的殘積在原地，歷時既久，便構成性質複雜的各種土壤。一般地下風化層的厚度不超過 200~300 公尺，接近地面部分多是鬆散的土壤。



1. 大氣層 2. 岩石圈層 3. 玄武岩石圈
4. 重質岩漿介層 5. 地心外殼 6. 鐵鎳質地心

圖 2-1

土壤是由固體顆粒(礦物質及有機物質)、水和氣體(空氣和其他氣體)三種成分組成。固體顆粒組成土壤的粒骸，其中佈滿互相連

(1) Базальтовая литосфера

(2) Железо-никелевое ядро земли

貫的孔隙，在這些孔隙中充滿着水和氣體。固體顆粒中的礦物質含量佔絕大部分，有機質含量很微，或完全沒有。礦物質分初生和次生兩種：屬於初生類者，有砂土的礦物質如石英、雲母、長石等；次生礦物質是在岩石風化過程中所生成的，屬於這一類的有各種黏土礦物質，如高嶺土、微晶高嶺土、滑石等。含有機物質的土壤，多是灰黑色、有腐臭、壓縮性大，深埋地下的泥炭就是這種有機性土壤，接近地面的黏土和壤土，有很多是含有機物質的。

土壤內部的氣體，有的起源於大氣（如氮），有的起源於生物化學作用的各種因素（如沼氣、硫化二氫），有的起源於地殼內部的化學作用。土壤內部的水與礦物質之間以極不同的形式結合着，化水和結晶水存在於礦物晶體內部，吸附水以極大分子力附着在礦物晶體的表面上，這些水的存在對土壤的物理特性有重大的影響。

土壤的結構是指它的排列形式，由下列三種情況決定之：（1）個別的礦物顆粒或它們的聚集體的大小和形狀；（2）這些成分的相互排列關係；和（3）它們是否有黏聚力。土壤結構的分類，最重要者為：（1）單粒結構，（2）蜂巢結構，（3）絨團結構。

單粒結構常見於無黏聚性土壤。礫石、砂沉積時形成這種結構，各顆粒之間互相依靠，交錯重疊，如圖 2-2(a)。這種結構的特點為能承受較大的壓力而壓縮很小。即使在疏鬆狀態下，壓力慢慢增加，壓縮也不會太大。若經搖動和振動，土粒便趨緊密。由於排列的方式不同，空隙約佔全體積的 26%~47%。

在新鮮沉積的粘土和淤泥裏，空隙約佔全體積的 80%~90%，所以不像砂土的單粒結構，它的空隙可大於土粒直徑。這個現象的發生是由於土粒較小（直徑為 0.002 公厘）發生分子的牽引作用，而在接觸點黏着起來所致。在沉澱時它阻止土粒合併成為緊密的層