

農田排水工程

張書農著

龍門聯合書局印行

前 言

排水和灌溉都屬於農田水利，排水是消除水害，灌溉是取用水利。在受水害的地區，這兩件事業顯然地有先後緩急的區別。因為排水是屬於除害這一方面，所以排水常常和防洪連在一起，而排水和防洪也就同時為水利事業的先決問題。

1949和1950兩年我國廣大地區遭受了嚴重的水災，為了整個的利益，是要注意防洪，而在農業觀點上要解除農民階級的痛苦，農田排水也是最切要的工作。在洪水退落以後，農田裏常存留着很多的積水，假如不設法排出，就要耽擱了幾季的收成。在我國許多地域尤其是在華南和華東雨量較多的地方，排水成為農業水利的基本問題。

這本書是適應時代的需要，在內容方面，國內的經驗介紹不多，著者在研究淮河區域排水問題時，祇獲得了一些初步結果，這可以說明我國排水事業還在幼年時期。如果需要適應華東和華南的情況，友邦越南的排水工程可供我們借鏡；若是在濱海區域，則荷蘭的經驗對於我們很有幫助，這都是著者在那些施工地點實習研究時所體會和經驗的。

這本書可以作為工程師們實際工作時的參考，又可作為大學土木水利系和農工系的教本和參考書，如果刪去了理論部分，用做職業學校和訓練班的課本，也很適宜。這是在編著時所針對着的目標；但是錯誤必不能免，願意接受各方面的批評以求改進。

張書農

一九五一年一月，南京

目 錄

第一章 土壤和土壤水

- (一) 土壤.....1-1
- (二) 土壤水.....1-8

第二章 排水的需要

- (一) 需要排水的情況.....2-1
- (二) 排水的目的和效用.....2-1

第三章 明溝排水(溝道排水)

- (一) 溝道的佈置.....3-1
- (二) 溝道和其他水利事業.....3-6
- (三) 溝道的設計.....3-11
- (四) 建築物.....3-81
- (五) 準備工作.....3-38
- (六) 計劃.....3-40
- (七) 溝道的施工和養護.....3-42

第四章 暗管排水

- (一) 通論.....4-1
- (二) 暗管排水的規劃.....4-7
- (三) 排水管的設計.....4-25
- (四) 暗管排水的附件.....4-38
- (五) 計劃的形式.....4-37
- (六) 暗管排水的施工.....4-45

第五章 機器排水

- (一) 機器排水的規劃.....5-1
- (二) 抽水機械.....5-13

章六章 放淤

- (一) 通論.....6-1
- (二) 放淤工程.....6-3
- (三) 虹吸管.....6-6

第七章 灌溉農田的排水和洗鹼及洗鹽

- (一) 灌溉農田的排水.....7-1
- (二) 洗鹼及洗鹽.....7-3

附錄一 越南的排水工程

- (一) 哈東富利區灌溉排水工程.....附1-1
- (二) 柏林東北區排水工程.....附1-12
- (三) 太平北區排水灌溉工程.....附1-14
- (四) 萬海區的防海墾殖工程.....附1-17
- (五) 安春區排水工程.....附1-19

附錄二 荷蘭排水工程

- (一) 須得海的圍墾工程.....附2-1
- (二) 代爾夫區的排水.....附2-16

附錄三 中國古代溝洫

附表一 曼寧流速公式計算表

附表二 水力半徑表

附表三 排水管流量和流速表

索引

外國人名地名表

主要參考書

第一章 土壤和土壤水

(一) 土壤

1-1 農業土壤 適宜於作物生長的土壤，應該具備三個條件：1. 空氣流通，2. 相當溫暖，3. 適當的含水量。在土壤的空隙裏充滿了空氣和水分。正和動物一樣，空氣和水也是植物生長的必要條件。農業土壤裏所含水分的多寡，對於植物生長的情況和收穫的豐歉影響很大。

排水溝及排水管的距離及深度的決定，是根據土壤的性質，因此要求得最適當而經濟的排水佈置，必需認識土壤的一般性質。從田中取得土樣，經過試驗室的研究，作為設計的標準。土壤的性質很多，祇把和農業及排水有關的說明如下。農業上需要認識的土壤性質主要是土壤的種類，土壤的色澤及臭氣，土層，土壤比重，土壤空隙，土壤的凝聚性和粘着性。

1-2 土壤的分類 土壤的組成和土粒的大小對於排水的影響很大。普通把土壤分做沙土，粘土和壤土；按照土粒的大小來分類，如表 1-1。因為土壤的成分不同，習慣上有許多不同的名稱，如沙質壤土，壤質沙土等。表 1-2。在試驗室裏用過篩分析或稜粒分析知道某種土樣所含土粒的大小及其成分（%），從表 1-2 和圖 1-1 就可訂出土壤的名稱。設某種土樣含有 28% 的粘土（重量百分比），45% 的沉泥和 27% 的沙土，從圖 1-1（A 點）知道它是屬於粘質壤土。

土壤中除了沙土、粘土和沉泥以外，還有有機物質，是腐朽的植物所變成的。有機物質的含量多寡也影響土壤的性質。泥炭土（Peat）含有有機物 35% 以上，其餘的成分是沙土、粘土和沉泥。泥炭質壤土

表 1-1

土 壤	土粒直徑 (公厘)
細礫	2.0 — 1.0
粗沙	1.0 — 0.5
中等沙	0.5 — 0.25
細沙	0.25 — 0.10
極細沙	0.10 — 0.05
沉泥	0.05 — 0.005
粘土	0.005 — 0.00

含有有機物 15-35%，其餘成分是大部分沙土和小部分的粘土或沉泥。

表 1-2

土壤分類	沙土 %	沉泥 %	粘土 %
沙土	80—100	0—20	0—20
沙質壤土	50—80	0—50	0—20
壤土	30—50	30—50	0—20
泥質壤土	0—50	50—100	0—20
沙質粘壤土	50—80	0—30	20—30
粘質壤土	20—50	20—50	20—30
泥質粘壤土	0—30	50—80	20—30
沙質粘土	50—70	0—20	30—50
粘土	0—50	0—50	30—100
泥質粘土	0—20	50—70	30—50

黃土在我國佔有的面積很大，它是華北和西北的重要農業土壤，很是肥沃。黃土含有石英和石灰質，只有少量的粘土。黃土中含有細微的孔管，管徑在 0.2 公厘以上，管壁蓋着石灰質。土粒的大小，大約在 0.5—0.01 公厘之間。鬆的黃土空隙率可在 40% 以上，很容易透水。在美洲和歐洲也有黃土。

在土壤的中間含有膠狀體，直徑在 0.001 公厘以下的土粒，都稱為膠狀體。和水泥和在一起成為膠狀。

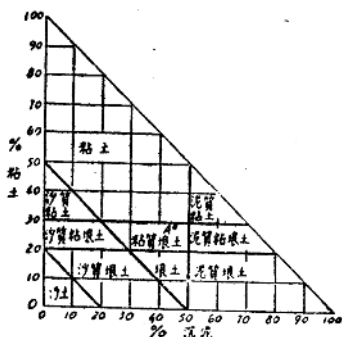


圖 1-1

1-3 土粒的排列和土粒的數目 土粒的排列、土粒的大小和土粒間的空隙，對於農業的影響很大。土壤的通氣，滲透的速度，土壤水分的供給和植物的養料都和它有關。

假設用一公厘相同直徑的許多土粒排在一起，在一立方呎的空間裏，可以擠着 15,000 個土粒，這許多土粒表面合計起來共約 1/2 平方呎。若是用 0.0001 公厘相同直徑的土粒排列在一起，在 1 立方呎的空間內共有 15,625,000,000,000 個土粒，它們的全部表面積是 5,450 平方呎。通常的農業土壤中，含有各種不同大小的土粒，一個立方呎的土壤，土粒表面積共計 70,000 平方呎。各種土壤在一定體積內的土粒數目和它的表面積如表 1—3。

表 1—3

土 壤	土 壤 成 分							空隙 %	每公分重 土壤所含 土粒數 (百萬個)	一立方呎容 積的土壤， 土粒表面積 平方呎
	細礫	粗沙	沙	細沙	極細沙	沉泥	粘土			
粗沙土	5.0	13.0	27.0	30.0	11.0	8.5	5.5	40.0	3,276	40,500
沙土	5.0	13.0	20.0	32.5	14.0	9.0	6.5	41.8	3,956	44,500
沙質壤土	5.0	10.0	11.0	26.0	11.0	22.0	15.0	51.0	6,485	66,600
細沙質壤土	2.0	2.5	5.0	20.0	27.5	32.0	11.0	50.0	4,902	62,000
泥質壤土	1.0	1.5	2.5	3.0	11.0	56.0	22.0	53.0	9,639	104,000
粘質壤土	3.0	5.0	5.0	12.0	10.0	28.0	37.0	54.0	16,371	136,000
粘土	0.0	2.0	2.5	5.5	7.0	37.0	46.0	56.0	19,525	142,000

土壤中包含各種不同大小和不同式樣的土粒，在粘土和粘質壤土中含有鐵物質膠狀體，在泥質壤土中有有機膠狀體。這些膠狀體把土粒結成塊再連接成為各種式樣的組織。在潮濕氣候地帶的表層土粒比較粗大，由於雨水滲透的作用，把細粒土推到下層，故下層土粒比較細小。耕犁的作用、植物根部作用和小動物的活動可以使土壤比較疏鬆。

1—4 土壤空隙 土粒間留有空隙。粗粒土壤的空隙，比較細粒土壤的空隙大；但在一單位容積中的空隙總容積是細粒土大於粗粒土。土粒的形態愈加不規律，則空隙愈大。土壤含有有機物多的，空隙也就加大。細菌對於有機物的作用，可以造成粘膜包圍土粒，乃使土粒

有凝聚性，而成為較大的空隙。據摩西爾和古斯大夫生⁽¹⁾ (Mosier 和 Gustafson) 研究各種土壤的空隙如表 1—4。土壤的空隙是在一定容積的土壤裏所含空間的百分數。如 100 立方公分的土壤內含有 46 立方公分的空間，空隙就是 46% = P_o 。

表 1—4 各種土壤的空隙

土 壤 種 類	有機物含量	空隙(鬆土)	空隙(實土)
	%	%	%
沙土	0.75	44.9	39.7
褐色沙質壤土	2.90	53.7	43.3
黃色細沙質壤土(黃土)	0.80	59.0	49.9
白色沉泥質壤土	0.79	59.7	50.2
褐色沉泥質壤土	4.88	60.4	50.4
黑色粘土質壤土	5.50	61.2	52.7
褐黃色粘土	3.60	68.2	58.2
泥炭	64.48	65.6	60.8

設 V_1 = 土粒乾燥後的緊密土壤容積，

G = 它的重量，

V_2 = 該種土壤從地中挖出後的容積，則

$$P_o = \frac{V_2 - V_1}{V_2} \cdot 100\% \quad \text{式 (1-1)}$$

設 S_o = 土粒的比重 = $\frac{G}{V_1}$ ，

r = 土壤連同空隙計算的單位體積重量 = G/V_2 ，則

$$P_o = \left(1 - \frac{r}{S_o}\right) \cdot 100\% \quad \text{式 (1-2)}$$

土壤的空隙又和深度有關，土壤愈深則空隙愈小。據金氏(King)⁽²⁾

(1) Mosier and Gustafson, Soil Physics and Managements,
J. B. Lippincott Co., Philadelphia

(2) King F. H., The Soils

的研究如表 1-5。土壤的

表 1-5

空隙過大，水容易漏出，不能保持水分，養料要隨水流去，不能上升，且因空氣太流通，容易蒸發。相反的如粘土空隙太小，不容易滲透，不容易通氣，也足以有礙植物的生長。適當的空隙最適宜於農業的耕種，所以沙粘混合土是最合理想。

深 度		重 量		空隙
呎	公尺	磅/立呎	公斤/立公尺	%
1	0.30	79.0	1260	52.2
2	0.61	92.6	1490	44.0
3	0.91	104.6	1670	36.8
4	1.21	106.2	1710	35.8
5	1.52	111.0	1790	32.9
6	1.82	111.1	1792	32.8

1-5 土壤的色澤及臭氣 土壤的色澤對於土壤的溫度很有影響，黑色土壤吸熱最多，故最肥沃。土壤中可以使土壤帶有顏色的成分，是鐵的化合物和腐植質。鐵質有赤褐黃綠等色，腐植質則有褐灰黑等色，所以含有腐植質的多是黑色。在乾燥時和潮濕時土壤的色澤不同，所以要辨別土壤的色澤要在潮濕時。土壤在潮濕時常常放一種特別臭氣，這是由於一種揮發性的有機物。

1-6 土層 在潮濕地帶，土壤的物理組成和結構隨深度而異，因為植物動物及滲透水的作用，使得上下土層不同。土層可分為兩大部分，在地面上為表土，下面是腹土。表層土壤又可分為上表土及下表土。上表土在最上層厚度約 0.15 公尺 (0.5 呎)，最為重要。上表土多是暗褐色，含有機物及養分很多，土壤的種種變化，在這一層是最多。上表土的下面是下表土，層厚 0.18 公尺 (7 吋)，性質和上表土相似。以上兩層合起來叫表層土，表層土的厚度不一定，淺的只有 0.1 公尺 (4 吋)，深的可到幾公尺。在低濕地表層土大都很薄。表層土愈深，作物的根蔓延愈廣，養分的供給愈多，故土壤更肥沃。普通作物的栽培，需要的表土深度在 1 公尺以上。腹土不受耕作的影響，但對於毛細管水的流動及排水的關係很大。可能表層土不容易漏水而腹土很

容易漏水；又在腹土以下，可能有一層土壤，它的透水性和腹土不同，這些都影響到排水問題。

腹土和表土的區別，常常可從色澤及組織上判別。設表土受了冲刷，腹土暴露，往往不宜於耕種。酸性土壤的腹土很緊密，不容易透水，故不宜於耕種，並且不便排水。在潮濕地帶，土壤的組織不受深度的影響。雨下降可使表土的有機物質發育滋長，並使細粒土壤隨滲透水下降。在乾燥地帶，因雨量稀少，沒有這種現象；但若經過灌溉，則土壤的情形，仍和潮濕地帶相仿。

1-7 滲透 水在土壤中慢慢地移動，移動的快慢和土壤空隙有關，空隙大的土壤滲透很快；而空隙小的土壤滲透很慢。大賽(Darcy)找出下面的關係

$$Q = K \frac{h}{l} \cdot F = K \cdot S \cdot F \text{ 立方公分/秒} \dots\dots\dots \text{式 (1-3)}$$

$$\text{又因 } Q = V \cdot F, \text{ 所以 } V = K \frac{h}{l} = K S \dots\dots\dots \text{式 (1-4)}$$

上式的K是滲透係數，以每秒公分計，F是滲透水流過的斷面積（平方公分）， $\frac{h}{l} = S$ = 在地面下的地下水面坡度，在圖1-2中是表示滲透

水經過l的距離後，跌落水頭高度是h，V是滲透水流的速度，以每秒公分計。實際上水流在土粒間並不是直線運動而是曲折迂迴，雨水分子的速度也大於V值，V只不過是一個相當的假想數值。若S=1，則V=K。

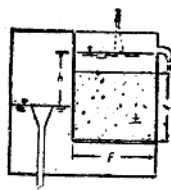


圖 1-2

K的數值變化很大，通常所謂不易透水的土壤就是K值很小；而容易透水土壤的K較大。在試驗室裏可以決定土壤的K值；而在田野間要找出未經擾動土壤的K值很為困難。下面的數值只可供參考，表1-6。山東濟南農場土壤的透水係數是0.0000825公分/秒，是比較不透水的土質，又山東石門農場K=0.0005到0.0006公分/秒，是容易透水的田地，在山東境內津浦沿綫田地，K

≈ 0.0004 公分/秒左右。這些地區都含有黃土成分，是很好的農業土壤。

表 1—6

土 壤	K (公分/秒)
粗沙	0.5 ~ 1.0
細沙	0.1 ~ 0.3
極細沙	0.01 ~ 0.02
壤土	$(0.1 \sim 1.0)10^{-4}$
粘土	$(0.02 \sim 2.0)10^{-7}$
黃土(未擾動)	$(0.5 \sim 1.0)10^{-8}$
黃土(已擾動)	$0.7 \cdot 10^{-7}$

1—8 土壤的鑽探 在實施排水計劃以前，必須認識土壤的性質。在田中採取土樣，就地的認識清楚或送到試驗室中試驗。採取土樣的方法有兩種：1. 開土坑，2. 鑽土器。取土的深度大約到達

地面下 1.5 公尺。土坑的式樣如圖 1—3，鑽土器的式樣如圖 1—4。a 是擊入式，長 1~2 公尺，有尖端，直徑 20~25 公厘，下在桿中有 7~8 公厘寬深的凹槽，長約 50 公分，把它打入地中，到一定的深度，旋轉後再取出就可取出土樣。

b 是螺旋式，取出的土樣較大，(土樣高度約 15~20 公分)。c 是空心旋轉式。

a 式取土器每個土樣要費 5~10 分鐘，b 和 c 式費 15 分鐘。

土壤的某些性質，可以就地判別。把土粒在手指中捏碎磨擦，可以判斷它的粘

性；或用放大鏡可以看出細粒的多少。這需要相當的經驗。簡單的試驗儀器也可以隨身攜帶，就地試驗。對於排水工程有影響的是土壤含有鐵質和沒有粘性的細沙。含鐵質的土壤可以從顏色看出來，和空氣接觸較少的含鐵土壤常是橄欖綠色、藍色到黑色，和空氣接觸的含鐵土壤是黃色到紅棕色到血紅色。沙土中含有少量的鐵就成紅色或褐

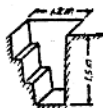


圖 1—3

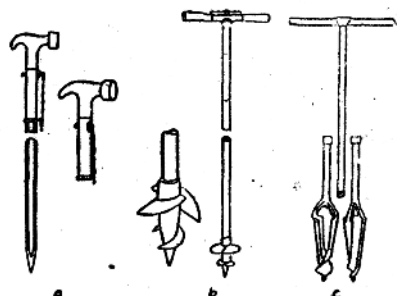


圖 1—4

色。要判斷腐植質的多少，也可根據顏色，土色愈深黑，含腐植質愈多。潮土的顏色比乾土深。含有腐植土的沙土顏色也比較壤土和粘土深。潮濕的沙土，若含有 0.2~0.5%（重量百分比）的腐植土是灰色，2~4% 的腐植土是深灰，大於 8% 是黑色。含有石灰質的土壤是淺灰白色，滴下幾滴鹽酸，土壤就會發泡。

要取得正確的認識，應該送到試驗室去分析，並須按照農業的需要做各種試驗。

各處土樣試驗的結果，應該做土壤剖面圖。如圖 1-5，圖中又表示地下水面。按照德國的習慣，土壤的潤濕程度用 w_0 （乾）， w_1 （較濕）， w_2 （濕）， w_3 （潮濕），和 w_4 （在地下水面以下）表示。土壤的緊密程度用 P_1 （堅硬）， P_2 （緊密）， P_3 （有空隙），和 P_4 （疏鬆）表示。“r”表示有裂縫。土壤中根鬚的密度可用 d_1 （根多）， d_2 （較多），和 d_3 （不多）表示。圖 1-5 上面數字表示土坑號數或鑽孔號數，右面的數字表示深度， $\frac{1.10}{14}$ 表示管深 1.10 公尺，管距 14 公尺（詳第四章）。土壤的顏色和種類用字註在右旁。圖中各種土壤也可用特殊的記號或點綫表示，各處應用的標準不同。

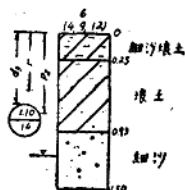


圖 1-5

（二）土壤水

1-9 土壤水 水是植物生長的必需品，直接地可做養料，間接的可以促進土壤中化學和生物的作用，並可以溶解植物的食料和輸送養料。土壤的空隙中，充滿了水分和空氣，土壤含水太多，有害於植物，所以需要排水。土壤水可以分做三種：

1. 附着水，2. 毛細管水，3. 重力水。

1-10 附着水 附着水凝結於土粒的表面，成為薄層水膜，在亢旱的氣候或土粒暴露在尋常氣溫中，附着水仍和土粒固結。必需加熱

到攝氏百度以上四五小時才可完全脫離土粒。附着的水量和氣溫、空氣、濕度及土粒的表面積都有關係。土壤的土粒愈細則在單位體積中它的表面積總和愈大，故附着水較多。土粒中含有有機及無機膠狀物也可以增加附着水量；而膠狀物的多少又係於土粒的粗細，所以細粒土壤的附着水分較多。空中濕度高，附着水也要增多，空中溫度高則附着水減少。土壤在某種溫度飽和空氣的附着水量和乾土重量的百分比為附着係數。據布立克斯及相茲(Briggs 和 Shantz)⁽¹⁾的研究，各種土壤的附着係數如表 1—7 的第三行。布相二氏把驅在氣溫攝氏 20°C 的乾土，加熱到 110°C，失去的重量就是附着水分。

表 1—7 各種土壤的土壤水係數(重量百分比)

土壤種類	含粘土百分數	附着係數 %	枯萎係數 %	存留的毛細管水 %	最大吸水 量 %
粗沙	1.6	0.5	0.9	0.4	25.7
細沙	3.9	1.5	2.6	1.1	28.5
沙質壤土	7.5	3.5	4.8	1.3	34.9
細沙質壤土	12.9	6.5	9.7	3.2	49.1
壤土	22.0	7.8	10.3	2.5	50.8
粘質壤土	32.5	11.4	16.3	4.9	68.2

附着水的構成是由於土粒和水分子的相互吸力，附着水膜很薄，設附着係數是 2%，水膜厚約 0.00005 公厘；附着係數為 10%，水膜厚 0.00025 公厘。設某土壤的附着水已達飽和程度，跟尚未飽和的空氣接觸，則附着水的一部分變為水氣。附着水膜很薄，並且緊粘在土粒上，故不能供給植物根部的吸收；附着水也不能流動。

1—11 毛細管水 設水量增加，則土粒表面的附着水膜漸漸變厚，達到飽和狀態以後，就成毛細管水。毛細管水是由於毛細管的物

(1) L. J. Briggs and H. L. Shantz, BuH. 230, Bureau of Plant Industry, U. S. Depart. of Agriculture

理作用，留存在土壤空隙裏。許多土粒間的空隙連接起來，好像是許多細管，（圖 1—6）由於水的表面張力，水分可從下面向上升高。土粒間的空隙愈小，則毛細管水的上升愈高；兩土粒間的距離又和土壤的結構組織有關，故各種不同的土壤也具有各種不同的毛細管水含量。

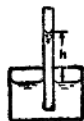


圖 1—6

毛細管水可以流動，設土粒相互接觸，則毛細管水膜就把幾個土粒同時包圍。毛細管水可以在尋常溫度中蒸發。

毛細管水膜在飽和情形厚約 0.002 公厘。毛細管水可以為植物所利用，故很為重要。毛細管水的多寡影響於植物的生長；若毛細管水分的供給不足以適應作物的需要，則作物發育遲緩，甚至枯萎。使得作物枯萎的土壤中臨界含水量百分率叫枯萎係數。附着係數和枯萎係數的比例平均是 0.68。枯萎係數的大小和作物的種類及土壤的結構組織有關，如表 1—7 第四行。

土壤的含水量漸漸增加，則水膜漸厚，而水的流動性也漸漸增加。毛細管水可向各方流動，因地心吸力的關係，向下較向上容易。毛細管水的引力和水膜的彎曲度有關，水膜的曲度半徑愈小則毛細管的引力愈大。設各相鄰土粒的表面水膜曲度相同，則毛細管水達於均衡狀態而停止流動。相鄰土粒的水膜曲度半徑差別愈大，則毛細管水從厚膜到薄膜的流動愈速。土壤的毛細管水分少，則水膜薄，曲度大而毛細管的引力愈強。所以水分愈多，引力愈弱，到引力等於地心吸力時，就是最大毛細管水含量，若水分超過這個限度，多餘的水分由水膜滑動下流而成為引力水或重力水。

地下水表面附近的土壤，毛細管水含量最多，距地下水表面愈遠，就是到地面愈近，毛細管水的含量愈減。所以最大毛細管水含量又和深度有關，平均土壤的最大毛細管水含量約 20%。毛細管水供給植物的生長，須要的毛細管水含量的多少又看植物的種類而異。普通作物所需要的最適宜的毛細管水的含量約為最大含量的 40~60%，是為適宜含

水量。表 1—8 是愛雷斯 (Ayres)⁽¹⁾ 所搜集的，第五行是最大毛細管水含量。

表 1—8 土壤水含量 (重量百分比)

土壤種類	重量 (磅/立方呎)	吸着水 含量 (%)	枯萎 係數	毛管水 含量 (%)	有用水 含量 (%)	重力水 含量 (%)	含水 總量 %
粗沙	81	1.0	1.5	13.0	11.5	19.0	33.0
細沙	82	2.1	3.3	14.0	10.7	17.9	34.0
沙質壤土	82	4.7	7.0	15.0	8.0	15.3	35.0
細沙質壤土	83	6.9	10.8	16.0	5.2	14.1	37.0
壤土	83	9.1	13.4	18.0	4.6	10.9	38.0
泥質壤土	83	11.8	15.0	19.0	4.0	9.2	40.0
粘土	68	13.2	16.5	20.0	3.5	8.8	42.0

在粗粒土壤中，空隙較大，毛細管水的流動較快；而毛細管水的上升高度，在細粒土壤中比較粗粒土壤為高。伊利那

表 1—9 毛細管水的上升 (公厘)

土 類	一小時	一日	十四日
粗沙土	184	234	272
細沙質壤土	290	1010	1480
泥炭土	66	140	168

(Illinois) 大學的試驗如表 1—9，沙土的毛細管水上升高度很小，壤土的上升高度隨着粘土的含有量而增加；但是粘土的含量太多，上升高度反而低。亞爾登和法蓋婁 (Alten, Vageler)⁽²⁾ 研究的結果如表 1—10。毛細管水上升的速度和土粒的大小有關，亞特貝格 (Atterberg)

表 1—10 毛細管水上升高度

粘土含有 量 %	上升高度 (公厘)	粘土含有 量 %	上升高度 (公厘)
0.0	128	52.1	833
4.2	256	55.0	500
10.1	526	64.2	74
39.4	500	68.0	27

(1) Ayres & Scoates, Land Drainage and Reclamation 1939 McGrawhill Co.

(2) Mises V, Elemente der Technischen Hydromechanik 1914

觀測的數值如表 1—11。土壤一般的空隙大約在 40.1% 到 41.7% 左右,差別不會太大。根據許多人的研究,極細沙(0.05—0.02 公厘)的上升速度最大;而粗沙和粘土(0.002—0.001 公厘)的速度很小,並且相等。原因是由於粘土土粒間的空隙太狹,幾乎沒有無張力的空隙⁽¹⁾,水分很不容易上升。細土可以結成小片而加大了空隙,也可以減小上升高度。

表 1—11 24 小時毛細管水上升高度

土粒(公厘)	上升高度(公厘)	土粒(公厘)	上升高度(公厘)
5—2	22	0.05 —0.02	1153
2—1	54	0.02 —0.01	485
1—0.5	115	0.01 —0.005	285
0.5—0.2	214	0.005—0.002	143
0.2—0.1	376	0.002—0.001	55
0.1—0.05	530		

1—12 重力水或引力水 土壤含水量超過其最大毛細管水含量後,由於地心引力,多餘水分就滲透下降,而成重力水。重力水存積在土中,非但不能為植物所利用,且降低了土壤的溫度,阻礙了空氣的流通和微生物的繁殖,因此降低了土壤中的有效養料,所以重力水是有害的水分。圖 1—7 是土壤水的分配情形。重力水的含量因深度而異,重力水的多少和土壤空隙及毛細管水有關,土壤中空隙多則引力水多;土中毛細管水多則引力水少。毛細管水缺乏時,引力水就上升成為毛細管水,以供給植物的需要。里昂和費平(Lyon, Fippin)⁽²⁾ 研究的結果如表 1—12。

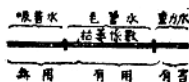


圖 1—7

(1) Sp. nungs frei Porenraum

(2) Lyon & Fippin, Principles of Soil Managements

表 1-12

土 類	空隙%	最大含水量 %	最大毛細管 水含量 %	最大重力 水 %
沙丘的沙土	52	40.5	10.7	29.8
粗沙土	51	39.5	10.6	28.9
細沙質壤土	50	38.0	18.0	20.0
沉泥質壤土	50	38.0	20.9	17.1
粘土	59	54.5	30.4	24.1
腐植土	80	333.0	250.0	83.0

(除空隙外,都是重量百分比)

1-13 雨水的滲透 雨水向下滲透的速度和土粒的大小,空隙的巨細,土壤的粒狀和組成,土中的有機質,以及土壤中動物的穿掘空洞等都有關係。其中以土粒的大小關係最為重要。在前面已經談過。滲透水流動的速度約和土粒的直徑平方成正比,而土壤的滲透係數是排水設計的重要因素。

雨水降落在地面上,就慢慢地滲透到土壤裏。所謂滲透率(Infiltration capacity)是雨水滲透到土壤中的速度。這和滲透係數有些區別。這個問題在水文學裏有專門的研究,在估計地面水的排水量是要用到的。滲透率有最大和最小的數值,在降雨的初期,滲透率最大;雨點打到地面,地面土壤的結構也起了變化,在幾小時後,滲透率就可能降低到最小數值,如果再繼續降雨,滲透率保持最小的數值,幾乎不變。若降雨量超過了滲透量,多餘的水量就變成逕流。

影響滲透率的主要因素是: 1. 土層的透水性, 2. 土壤表面情況, 3. 土壤的含水量。土層的透水性和土壤的非毛細管空隙(Non-Capillary porosity)的關係很大。土壤的透水速度大約和最低滲透率相近, 都和非毛細管空隙成比例。

所謂非毛管空隙就是除了毛管水佔據以外所剩餘的土壤空隙, 假如沒有雨水的滲透, 都是填滿了空氣或引力水。據多亞命科(Doiarenko)的研究如表 1-13。