

目 錄

校閱者序

譯 序

原 序

第一章 緒 論

土壤沖蝕之控制	3
排水	4
灌溉	4

第二章 降 水

降水之發生	12
暴風雨	14
降水量之觀測	19

第三章 入滲、蒸發及蒸散

微氣象觀察	39
入 滲	44

第四章 逕 流

影響逕流之因素	63
逕流之估算方法	66
設計逕流率之估計	66

第五章 土壤、水與植物之關係

土壤之機械性質	81
---------	----

單位說明

符號說明

水分保存	7
水源開發	9
洪水控制	9

降水資料之分析	22
美國降水分佈情形	24

蒸發及蒸散	48
蒸發散量之預估	52

逕流量之估計	72
出水量之估計	75
逕流過程線之繪製	77

土壤水分	88
------	----

土壤水分之移動-----	95	土壤滲透率之測定-----	109
未飽和土壤之水分移動-----	95	植物生長之因素-----	104
飽和狀態土壤水分之移動-----	96		

第六章 土壤沖蝕原理

水蝕-----	105	剝蝕沖蝕-----	114
雨點沖蝕-----	108	風蝕-----	115
表層沖蝕-----	111	土壤損失-----	118
小溝沖蝕-----	111	植物營養分及有機物之損失-----	129
溝壑沖蝕-----	111		

第七章 風蝕之控制

控制地面風速-----	132	控制土壤因素-----	141
-------------	-----	-------------	-----

第八章 等高栽，橫條間栽及耕作法

等高栽及橫條間栽-----	144	保土耕作法-----	149
各種耕作方法-----	149	其他耕作方法-----	154

第九章 植草排出口及排水道

設計-----	156	覆蓋植物之建立-----	165
水道之構築-----	165	排水道之維護-----	166
		大型溝壑之植生處理-----	167

第十章 塔 段

寬塔塔段-----	170	塔段系統規劃-----	178
塔段之設計-----	172	塔段之構築-----	181
塔段之規範-----	172	塔段之維護-----	183
塔塔容量-----	178	覆洩磚-----	185

第十一章 水土保持構造物

跌水溢洪道-----	193	密蘇里式溝槽-----	198
溜 槽-----	197	管道溢洪道-----	199

第十二章 土 堤

設計原理-----	209	施 工-----	225
-----------	-----	----------	-----

維護與保養 ----- 227

第十三章 上游洪水之控制

上游洪水控制之方法 ----- 234

減少其水流量 ----- 234

增加河道容量 ----- 239

預防維護 ----- 242

洪水演算 ----- 240

第十四章 土地整坡與規劃

田間地面排水溝渠 ----- 252

土地整坡 ----- 252

第十五章 明 渠

排水溝渠 ----- 280

定線與規劃 ----- 282

灌溉渠道 ----- 284

施 工 ----- 286

養 護 ----- 289

第十六章 地下排水原理

排水與植物生長 ----- 291

地下排水之理論 ----- 294

第十七章 地下排水設計

暗管系統種類 ----- 309

出 口 ----- 310

暗管深度及間距 ----- 312

暗管尺寸 ----- 319

附屬構造物 ----- 320

排水暗管之品質 ----- 326

設計與規範方法 ----- 327

第十八章 暗管排水之構築與維護

構築方法 ----- 331

管道所受荷重 ----- 336

費用估計 ----- 340

暗管排水系統圖之繪製 ----- 341

維 護 ----- 341

第十九章 抽水機及抽水

抽水機之形式 ----- 344

離心抽水機 ----- 345

推進式抽水機 ----- 349

抽 水 ----- 350

第二十章 水源及其開發

水源-----	360	地面水源之開發-----	375
需水量-----	365	地下水源之開發-----	378
水量測定-----	366	水源保蓄-----	385

第二十一章 灌溉原理

灌溉方法-----	398
-----------	-----

第二十二章 地面灌溉

農場中水之分配-----	402	設計與評估-----	407
水之供應-----	405		

第二十三章 噴灑灌溉

第二十四章 水土保持之法律問題

排水-----	432	公共企業-----	440
互助排水事業-----	433	洪水之控制-----	441
有組織之排水事業-----	433	聯合企業-----	441
灌溉-----	438	水土保持工作區-----	442
私人企業-----	440	水利工作區-----	443
灌溉工作區-----	440		

附 錄

附錄A 降雨特性-----	444	附錄G 地下暗管之荷重-----	474
附錄B 逕流之計算-----	450	附錄H 常數換算-----	477
附錄C 滿寧流速公式-----	456	附錄I 常用公式及其應用-----	481
附錄D 管道及暗渠水流-----	462	附錄J 過濾層設計規範-----	485
附錄E 排水暗管及水管規格-----	466	附錄K 噴灑灌溉之蒸發量-----	468
附錄F 土方工率-----	470	附錄L 公制公式-----	489

中英名詞索引-----	492
-------------	-----

第一章 緒 論

水土保持工程學係應用工程之原理去解決水與土管理上之問題，此種保存人生存有關資源之保育，意指在無浪費之情形下維持一較高的產量且能永續利用。

水土保持在工程方面可分為以下六項：即(1)沖蝕之控制，(2)排水，(3)灌溉，(4)防洪，(5)土壤水分之保持，(6)水源開發等。雖然水土沖蝕在未開發之絕地亦有發生，但水土保持之問題，主要乃因人類破壞天然植生覆蓋物時而引起；排水為自低濕地排除過多之水分；灌溉為供給適量水分與無足夠水分供給作物生長之土地；防洪之工程包括低地被水淹沒及減少暴雨時與暴雨後之逕流量。

土壤水分之保持為應用適當之耕耘及作物之經營方法，包括自然及人工之覆蓋技術，平台階段，等高耕，溝渠，水池以及其他保持降水停留在地面上與減少水分自土壤表面蒸發之實際方法。水源開發包括收集及儲蓄地面水以及有計畫之開發及補助地下水源。

增加作物產量之主要途徑有二；第一為開發尚未生產之土地，第二為改良現有耕地以增進其生產力。土地之開墾主要借重於排水，灌溉及地面樹木石塊之消除。上述各種工程方法經應用後將增加現有可耕地之生產率。

1.1. 農業工程師在水土保持工作中之任務 完善之水土保持建立於工程、植物與土壤學完全密切之相互運用。農業工程師除有工程之學識外，並應經過土壤、植物及其他方面之訓練，才適合執行此種綜合性之工作。實施水土保持工程計畫必須具有土壤物理及化學性之知識及其全面性之觀念。農業工程師具有創造一個最適於植物及動物生產環境之獨特目標。任何一個職業團體對相互間的問題應有認識，同時應充分合作，因若干問題不能在某一專業人員之有限條件下而獲得解決。

為達充分有效的運用技術專長，農業工程師必須使自己與水土保持有關之社會及經濟環境相配合，他必須完全瞭解已經形成而影響完美的水土保持

計畫之各種政治上的組織。

歷史上的，社會上的以及行政上環境對水土保持趨勢之影響應廣泛予以研究。

農業工程師對繪製地圖之原理，土地依其生產力在應用上之分類亦應熟練。

1.2. 土地資源之區分 為便於提供水土保持實務方案之建議，應將一個國家或一個區域予以區分為主要之土地資源區域，如美國即有此種區分（如圖 1-1），各區依其地理之性質描繪出來，以為研究及工作實施計畫之基礎。

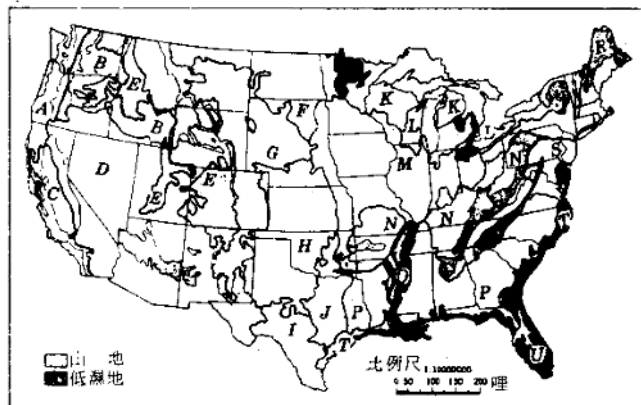


圖 1-1 美國主要土地資源區分圖

(A)西北森林，飼料及特種作物區，(B)西北小麥及放牧區，(C)加州亞熱帶果樹，牧草及特殊作物區，(D)西部放牧及灌叢區，(E)岩石山地放牧及森林區，(F)北部大平原春麥區，(G)西部大平原放牧及灌叢區，(H)中部大平原冬麥及放牧區，(I)南部放牧及棉區，(J)西南草原，棉花及飼料區，(K)北部高沼森林及飼料區，(L)湖泊，果樹，蔬菜及乳牛區，(M)中部食用穀類作物及家畜區，(N)東及中部一般農業及森林區，(O)密西西比河谷棉及飼料作物區，(P)南部大西洋放牧，現金作物，森林及家畜區，(R)東北部飼料及森林區，(S)北部大西洋坡地蔬菜，果樹及家畜區，(T)大西洋沿岸低地森林及蔬菜區，(U)佛羅里達亞熱帶果樹，蔬菜及放牧區。

土壤沖蝕之控制

水及風之沖蝕對作物產量之維持非常重要，據估計在美國每年從農地及草原地帶被水沖蝕而去之土壤最少有 30 億噸，每立方呎以 80 磅計，則約等於在 16,800 英畝之土地上損失了一呎厚之土壤，因風蝕而損失之土壤亦相當多，除流失表土外，同時尚失去肥分，有機質以及細質地土粒。

美國土壤沖蝕之分佈如圖 1—2 所示，該圖只說明其沖蝕之程度，並未區分風蝕或水蝕。甚多受嚴重沖蝕之小面積在該圖中亦無法顯示。一般所謂沖蝕之問題可見圖 1—3。

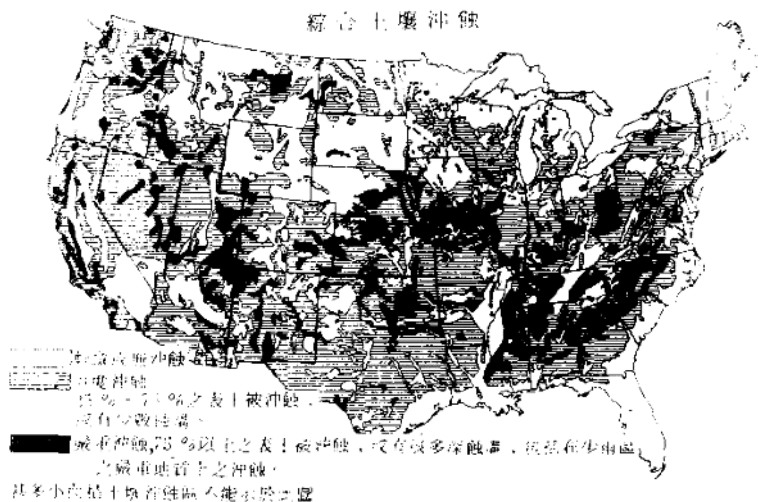


圖 1—2 美國土壤沖蝕分佈

由若干年之經驗及研究資料中顯示，防治沖蝕可用以下各種方法：(1)作物帶等高線種植，(2)密生及行栽作物相間橫條間栽，(3)橫坡築造排水道（轉段）將水流減速後排除，(4)種植林帶或築造其他適當之阻擋物作為防風帶以防治風蝕，(5)以作物殘株覆蓋地表或用不同之耕耘方法將殘株混入表土層中，(6)使用少次耕作或一次完成殺草及植牀準備等操作，(7)在排水道及防止沖蝕之地區種植永久植物，(8)構造適當之防沖構造物以安定蝕溝。

排 水

美國墾務局 (USDA) 1962 年指出在美國有 9,400 萬英畝，約佔 22% 農耕地有排水問題，1960 年農業普查資料顯示，每一排水計畫面積達 500 英畝以上者其總面積達 101.8 百萬英畝，自 1950 至 1960 年實施者亦達 5.3 百萬英畝，其所花費之費用共達 416,900,000 美元，該項費用尚未包括在農場區域組織外之排水投資。

圖 1-4 示美國低濕地之分佈情形，約 $\frac{2}{3}$ 之地區在南部， $\frac{1}{3}$ 在北部，需設施排水之土地情形如圖 1-5。



圖 1-3 農耕地上四種不同之沖蝕例：表層沖蝕，小溝沖蝕，溝狀沖蝕及風蝕。

排除低濕地過多的水分可用明渠、暗管或兩者兼用。低濕地大多肥沃、平坦，無嚴重之沖蝕問題。如土地所有權屬於兩個以上的地主，則應合併成立一個組織。俾使排水系統獲得適當之出口，此種企業組織在美國已甚久。

低濕地區之土地開發首先即應建立排水系統，反之，乾旱地區之開發當然以灌溉為先。在灌溉區之排水以淋洗改良塩分地並控制地下水位之塩分上昇為主，如某地有塩分問題，除非排水設施能夠完善，否則不宜單有灌溉設施。

灌 溉

灌溉之最大可能性之一則為增產，在美國西部雖然有大規模設施，但在

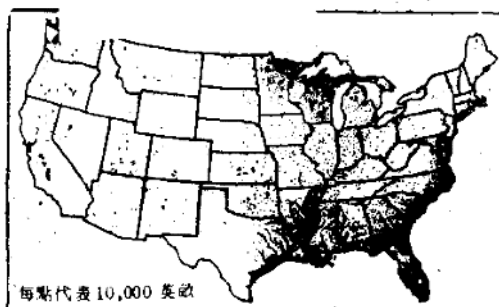


圖 1-4 美國尚未施設排水之低濕地分佈圖

東部各州其灌溉面積亦日漸增加。如某地區之年雨量僅有 10 吋，灌溉則非常必要，如年雨量在 10 至 20 吋之間，如不實施灌溉，則作物產量將受到限制，年雨量在 20 吋以上時亦常需灌溉，以資提高產量至最高程度。

不論其為一個已有噴洒灌溉之草原（如圖 1—6a）或從沙漠改變成青蔥而生產力良好之區域（如圖 1—6b）其基本之要件仍為土壤良好，健全的排水系統，可靠及水質優良水源之供應等。

乾旱地區之開發，需要清除地面樹木，整平地表，建立排水系統，以供開發當時及將來之需要。

灌溉受水源供應之限制甚大，除供作物之需水量外，尚需供排水系統



圖 1-5 不適當之地表及地下排水，在暴雨時即發生洪水。

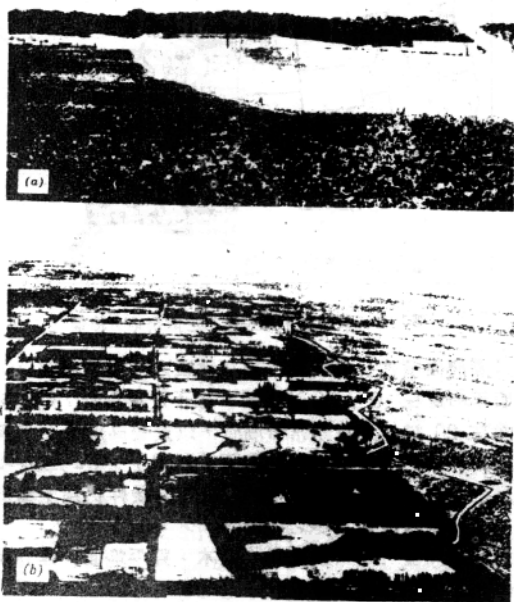


圖 1-6 灌溉已廣泛應用於(a)集約生產之草原，
(b)自沙漠改變而成之綠洲。

蒸發以及土壤深層滲漏等等損失。

在美國西部 18 個州中，每英畝供水量自 1.2 至 4.8 英畝呎，輸導系統不包括蒸發及其他損失約 15,800,000 英畝呎，其蒸發、滲漏及農場中管理不善之損失常高達水門進水量之 30%。

影響灌溉效率之情形如圖 1-7，農業工程師之主要責任應減少蓄水、輸水及用水時之不必要損失，以提高實際作物用水量之百分數。

根據 1959 年美國農業調查資料，48 州中之 306,532 農場內有灌溉之土地面積共 33,162,978 英畝，(如圖 1-8) 西部乾燥區之 18 州佔 94.6%，其餘濕潤區 30 州有 39,101 個農場，佔 12.8%，灌溉面積共 1,798,832 英畝，佔 5.4%。在東部之農場，噴洒灌溉設備繼續在增加，在西部亦

數字單位為水深以呎計

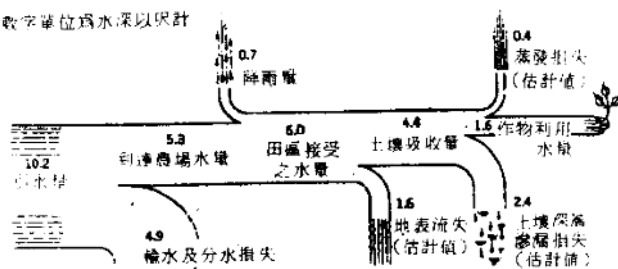


圖 1-7 未施用進步之灌溉方法時水之水量分配圖。
說明未適當應用灌溉水所影響用水效率之因子

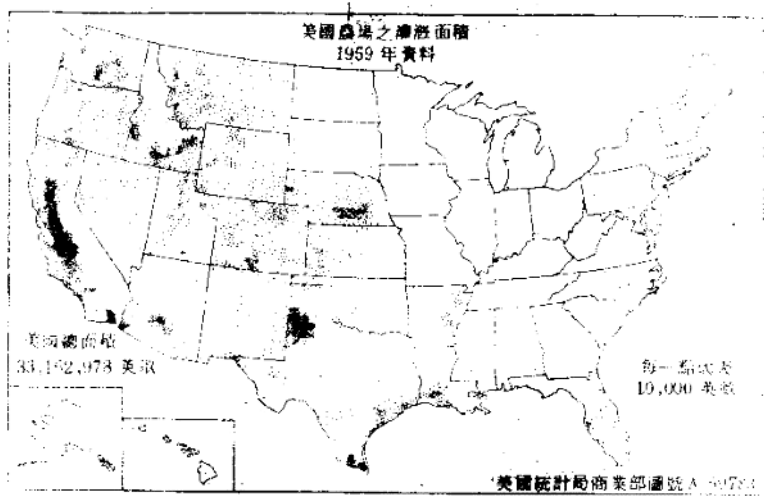
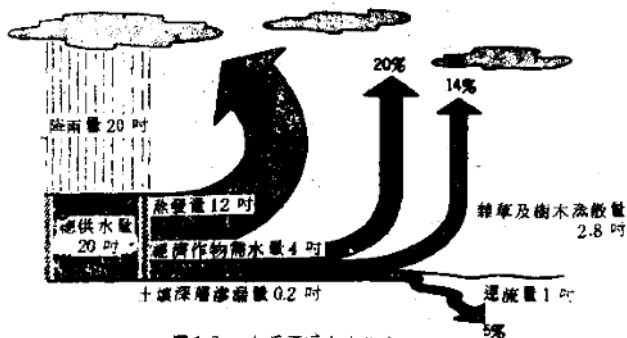


圖 1-8 美國農場之灌溉面積
及相當之面積使用噴灑灌溉。

水分保蓄

在美國大部份地區農業方面之重要問題為如何在其土壤水分缺乏之條件下維持作物及牧場之生產。如大平原之旱地農業區，太平洋岸之西北區，以及若下山谷中之平原尤為嚴重，因雨量分佈不均，若干濕潤地區亦因重要生

長期之水分不足，而受到影響，其問題之關鍵據估計在大平原之各州中，僅因蒸發即失去其雨量之 $\frac{2}{3}$ ，約等於3吋之雨量，此等地區尚可蓄積300,000,000英畝呎之水量。圖1-9示該地區水分平衡之標準型態。



農業工程師有一重要責任去研究新的方法使有效雨量之大部份能儲存於土壤中，如設計具有特別收集水量之平台塔段系統，改良貯雪技術（如圖1-10），及耕種方法，變換地面情況俾能阻截雨水並減少蒸發量或用植物及塑膠覆蓋地面控制蒸發量等（如圖1-11）。以上種種均為農業工程師面臨的問題。



圖1-10 該地被高聳的條帶所隔截，條帶間距40至80呎，32吋之覆蓋，增加2吋下期作物可利用之水分。



圖 1-11 用塑膠布覆蓋於地面可減少土壤蒸發，增加土壤有效水分。

水源開發

農業用水量極多，且日益增加，美國在灌溉方面用 46% 已開發之水源，都市用水，工業用水，遊樂用水以及其他非農業用水亦日漸增加。因此在農業方面如何改進有效的利用國家有限之水資源問題益形重要，如何加強充分開發水源直接供農業上需用。在 1955 年美國用於灌溉方面之水達 123,000,000 英畝呎，共灌溉 34,000,000 英畝，但 32,000,000 英畝呎之水卻因輸水而損失。該項損失包括滲漏（此為主要之損失可設法減少）蒸發及水路中植物之蒸散，減少此類損失即等於開發水源。以淹沒法或補注水井，補充灌溉及其他相似之方法以補充地下水量亦等於一種水源開發。

若干地面即使僅供應家畜，農家本身或特殊灌溉之需亦感水源缺乏。如造成一種不透水之地面，使逕流量增加而流至一蓄水之構造物中亦不失為一種良好之辦法，此項辦法稱為「水之回收」(Water Harvest)，如圖 1-12 所示，為一種獲得新水源之可行辦法。

洪水控制

農業工程師最先考慮上游集水區 1,000 平方哩面積內之洪水，因下游在主要支流之洪水較為特別，其災害亦較明顯，而上游地區之洪水常被人忽視。洪水量因面積增大而增加，但單位面積之洪水量則因面積之增加而減少。上游地區之洪水災害最先發生於農墾地，而下游地區之洪水則多發生於人煙

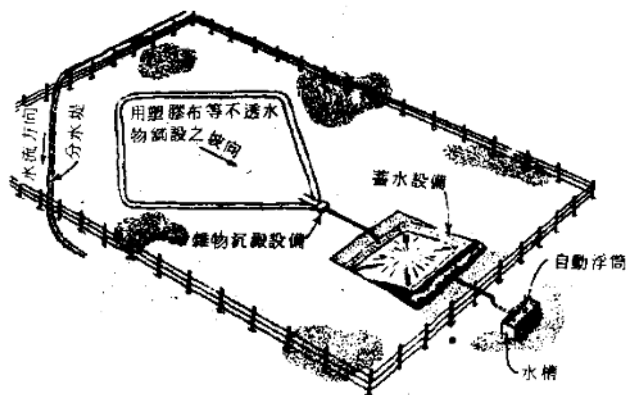


圖 1-12 收水設備舉例：充分利用有限之雨量方法。

稠密之地區。農地之洪水災害情形如圖 1-13。若干溪流每年均發生大小不同之災害。

上游地區之洪水控制方法包括適當集水區之管理及蓄集逕流於小型水庫中。適當集水區之管理可減少逕流量，同時可減少土壤沖蝕。上游地區之洪水控制計畫包括有關之排水、灌溉、蝕溝與河岸沖蝕控制及土地清理等。



圖 1-13 洪水對農地之破壞情形

第二章 降水

降水與大氣中之熱，水分及空氣移動等同為一種氣象科學。氣象科學特別偏重於土壤及水分之有效利用。氣候常為以下各項措施之控制因素，即防止土壤之過分移動，保持需要之水分，增加地面之滲水量，以灌溉供應所需之水分以及排除過多之水分等。水分過多、過少或分佈不良為限制農業生產量之主要因素之一。雖然每個人對氣候均甚關心，但氣象專家對一般氣象理論則較普通人更為瞭解。

2.1. 水之循環 氣象學為廣泛水文學之一部份，為研究大氣中水分移動及地面下水流情形之科學。圖2-1為水文循環之一例。圖中顯示水之來源為雨、雪、霰或雹。降水之一部份或全部在降到地面之前即被蒸發。部份降水在到達地面前從一種形態轉變為另一種形態，降水到達地面後或被植物阻礙，或滲入地下，或蒸發為水汽，或成為逕流。蒸發可發生於地面、水面、

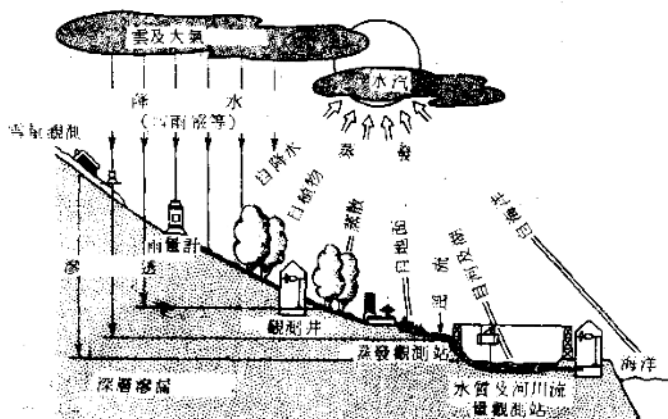


圖2-1 水文循環

植物之葉面蒸散。總降雨量之一部份可在地表流動成爲逕流，另一部份滲入土壤中被植物所利用，部份成爲地下水源，或緩慢流入河川而至海洋。

圖 2—1 並顯示水文循環中之各種測定方法，對農業工程師特具意義，雨及雪用雨量計或雪量計測定，積雪之厚度可用尺量測之，逕流可在河川中設流量站，以及地下水位之觀測站等。地下水之觀測係觀測水井中水位之昇降情況或淺層地下水位之高低以分析排水問題。

降水之發生

2.2. 降水之形成 降水有各種不同形式，下降時可從一種形態變爲另一種形態。降雨爲下降之水滴，可分爲微雨或雨，微雨之雨滴相當均勻，其直徑在 0.5 公厘以下，雨之水滴顆粒通常較大。降水亦可爲冰凍之顆粒，包括雪、霰及雹。雪爲一團極小之冰塊，稱爲雪花；霰爲雨滴經過冰點下之氣層而形成；雹爲若干薄層之冰包圍之雪球而形成。在以上各種降水中，雨及雪爲主要之水源。

土壤表面之水分，亦可從大氣中直接凝固並吸收之，如露水等是。經研究發現在裸地之土壤表面每年可凝固 1.2 吋水分，但如有草類覆蓋之地面，則只能凝固 1.0 吋。玉米之葉面在夏季可收集到 0.6 吋之水分，大豆之葉面則可收集到 1.3 吋，通常露在中午以前已蒸發殆盡，可減少土壤水分消失之速率。

2.3. 雨點之性質 降水大部分爲降雨，又雨點直接影響土壤之沖蝕，因此雨點之性質頗值得研究。經研究發現雨點之直徑有大至 7 公厘者，在任何一次降雨中其雨點大小之分佈與降雨強度有關。圖 2—2 顯示三次不同降雨中雨點大小之分佈情形，在降雨強度大時，不但雨滴較大，且其大小雨點之分佈範圍亦較廣。

雨滴不一定爲球體，或成流線型，雨滴在下降時因空氣中對其表面有不同之阻力可使球體變形，雨滴直徑大於 5 公厘時即非常不穩定。

雨滴下落之速度對研究土壤之沖蝕非常重要，觀察不同雨滴自不同高度下落之速度，發現下降之速度與雨滴大小有關，較大者下落速度較快，當高度增加約爲 35 呎時，其速度不再增加而達一最高之限度，其 1 公厘直徑雨滴之速度每秒約 15 呎 (10mph) 可增至 5 公厘直徑雨滴之每秒 30 呎。實際降雨之雨滴情形與上述觀察現象甚爲相似。

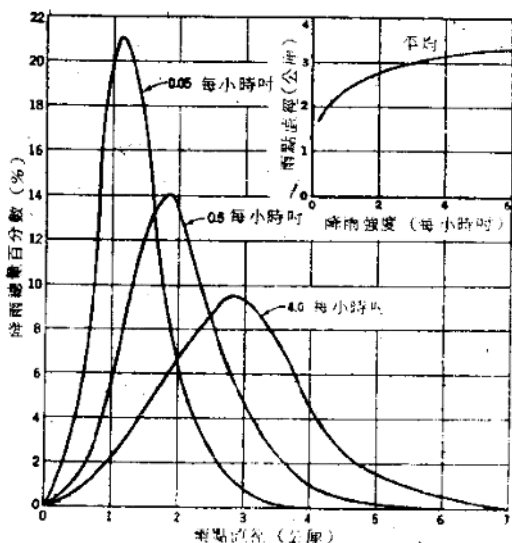


圖 2-2 雨量強度對雨量大小及各種雨量分配比例之影響

2.4. 氣團 氣團之性質為降水生成之控制因素，氣團係因地面及輻射之繼續結合而形成。圖 2-1-3 示影響美國北部之主要氣團，在墨西哥灣之熱帶海洋氣流因日曬而成，由於長時間與水面接觸形成一潮濕之熱氣流，自南方吹向美國中部及東部。加拿大中部形成之大陸冷氣流，其巨大壓力中心經數週不散，由於大陸氣團濕度低，常停滯於冰雪覆蓋之區域，因地面有反射現象，故氣流之溫度極低。

其他重要氣團以 S 符號示於圖 2-1-3 中，係大陸熱氣團夏季在美國之西南部沙漠區域形成。圖中 mp 符號者為海洋氣團在大西洋與太平洋之北部形成。

2.5. 降水之水分來源 墨西哥灣之熱帶氣團帶給美國中部及東部大部份水分，美國西部之水分則來自北極海。降水之水分極小，部份來自陸地上之蒸發，故不能因蒸發而增加當地之水分，除非當地蒸發之水分完全停滯，始