

部 定 大 學 用 書

灌 溉 與 排 水 學

國 立 編 譯 館 大 學 用 書 編 審 委 員 會 主 編

金 張 城 助 編 著

(排 水 學 之 部)

下

部 定 大 學 用 書

灌 溉 與 排 水 學

國 立 編 譯 館 大 學 用 書 編 審 委 員 會 主 編

金 城 編 著
張 建 助

(排 水 學 之 部)

國 立 編 譯 館 出 版
正 中 書 局 印 行

序 言

本書爲灌溉與排水學之下冊。上册灌溉學已於民國四十六年十二月出版，今下冊排水學之完成，使上下冊可以相互引證，互相爲用，筆者至感欣幸。

灌溉與排水在研究農田水利科學上爲最主要之問題。但因在編排上難以合成一冊。故分爲上下冊。但灌溉與排水關係密切，如合訂一冊而分爲灌溉之部與排水之部，將更爲適當。下冊排水學之取材，有已載於上册灌溉學者，已予刪除而避免重複，但保持上下冊之連貫性。此爲筆者曾經特別留意之點。

本書可供大專學校用爲農田排水教材或排水設計規劃參考之用。取材如有未盡善之處，敬祈賜正。本書繪製圖表工作蒙許龍文先生及湯松義先生協助，謹致謝意。

金城張建勛誌於國立台灣大學農工系

灌溉與排水學

下 冊

排 水 學

目 錄

第一章 概論	1
排水在農業上之意義 農田排水之規劃 農田排水之方法 排水之效益 排水之管理與法規	
第二章 排水在農業發展上之重要性	10
非農業用途之排水 排水與灌溉之關係 稻田之排水 台灣省之排水問題 台灣農田排水之實例 坡地耕作之排水 海埔地之排水	
第三章 排水與土壤之有關問題	24
土壤與其排水性能 土壤之滲透率 土壤之滲入率 植質土之排水	
第四章 土壤滲透率與滲入率之估計	33
滲透率之田間觀測方法 實驗室之直接觀測 實驗室之非直接觀測 一地區內之平均滲透係數 地面滲入率之估計	
第五章 排水量之估計	42
排水量估計理論公式 柯克 (Cook's) 氏方法 較大地區之排水量估計方法 其他方法 估計排水量之降雨頻率與強度 地下排	

水量之估計 暗管系統之排水係數“D”

- 第六章 排水之方法 37
 排水問題 明溝排水 地下排水 其他排水方法 田間之地面排水 田間之地下排水
- 第七章 地面排水之設計 74
 排水地區之測量 明溝之設計 排水之出口 明溝之安全流速 溝道斷面之設計 農田排水溝道簡易設計 明溝排水系統構造物
- 第八章 明溝系統之建築 87
 挖土之堆放 明溝之挖掘與挖溝機械 人工挖掘與簡單工具 機械挖溝 溝道側坡與棄土處理
- 第九章 明溝系統之養護 98
 防止溝道損害之措施 溝道之淤泥問題 溝道之雜草問題 化學方法除草
- 第十章 明溝系統之田間佈置 100
 平行溝道系統 畦溝系統 逢機系統 攔截系統 田間溝道之設計
- 第十一章 地下排水系統 109
 暗管排水系統 暗管之定線 暗管系統之排水係數 暗管系統之設計 暗管直徑之選擇 支幹線之設計 集水暗管之設計 地下水與土壤因素 暗管距離與深度 地下排水系統構造物 設計實例
- 第十二章 暗管排水系統之建築 132
 人工挖溝 機械挖溝 暗管之放置 挖溝之回填
- 第十三章 暗管之品質、規格與標準 139

暗管承壓力計算 暗管凍結影響 暗管之抗侵蝕性 暗管品質之選擇與使用要點	
第十四章 抽水機排水	147
抽水機站之設計 抽水機之選擇 抽水機配置 抽水機站之運用	
第十五章 灌溉區之排水	153
灌溉區之土壤與排水問題 地下水位過高之排水問題 土壤鹽分 高地下水位與鹽鹼土之控制 渠道滲漏之減少 鹽鹼土之處理 水中鈉鹽之含量對土壤滲透性之影響 杜年(Donnan)氏設計公式	
第十六章 丘陵地之排水	170
坡地耕作方法 梯田之構築 植草渠道	
第十七章 沼澤地之排水	178
泥炭土之排水沉降 泥炭土之排水問題 泥炭土暗管系統之管距 與管深 泥炭土排水之特殊問題 泥炭土地下水位對作物之影響	
第十八章 圍墾地之排水	187
荷蘭之圍墾事業 台灣海埔地之圍墾	
第十九章 排水之效益與成本	194
排水之直接效益 地區性之效益 區域性之效益 排水之成本	
第二十章 排水制度與法規	200
排水之法律觀念 排水之公共出口 舉辦排水事業之合法步驟 其他有關排水法規	
第二十一章 結論	209

灌溉與排水學

下 冊

排 水 學

第一章 概 論

農作物之良好生長，有賴於適當之水分供應。供應不足，固然影響產量，水分過多，亦有礙於作物生長。土壤水分不足，可由灌溉補充，而水分過多則須設法排水。因此農田之灌溉與排水，皆為以人為方法，使土壤水分保持在一種適合於作物生長之狀態。但排水問題不僅為排去土壤所含之過多水分，亦包括排除地面積水，或保護某一地區，使外面之水不致流入為害等各種措施。故若為灌溉目的而研究水源，其目標乃在盡其所利，而排水之目的乃在去其所害。此兩者之間常有互為因果之關係。

農業之目的為供應食糧與工業原料。世界上人口日增，農業供應之需要亦隨而增加。耕地擴展至需要灌溉之地區，同樣亦及於需要排水之地區。進一步原無灌溉排水之地區亦可因增加灌溉與改善排水而獲得增產。因灌溉排水之發展，耕地面積已大為增加。此種事例見於各處文獻，不勝枚舉。

一般而論，灌溉之研究，在水——土——作物關係上之問題較多。農人可依作物之需要灌溉某一地段。但排水問題則往往屬於整個地區而非農人可以在其田區內單獨處理者。排水問題又常由灌溉而引起。如

高地灌溉可使低地發生排水問題，此種情形極為普遍。此為計劃灌溉所不能忽略之重要事項。其次較為間接但仍與排水有密切關係者，如在水土保持與土地改良工作，排水往往為最重要之項目。

排水在農業上之意義

排水對農業發展具有極為重要之意義。其直接之利益為由於排水所增加之廣大耕地面積，及由於已有耕地排水之改善而獲得增產。間接則為排水設施所保護之土地使免受水害。中國歷史上之大禹治水，實質上為一項龐大之排水工程。美國之富羅里達州(Florida)，大部份原為沼澤地帶，今日已成為美國重要農產區之一。英國東海岸數十萬英畝之廣大地區，原為北海之潮汜地，今日已成為富庶之農產地帶。荷蘭之宿得海(Zuider Zee)計劃，世界知名，亦為一大規模之排水計劃。此外其他各國亦有類似之成就，且仍在繼續發展中。據1946年美國農業工程學會之排水小組報告，列出有29,000,000英畝之面積在有組織之排水區內者，需要作排水之改善。20,000,000英畝應成立排水區加以開發，另有8,000,000英畝原有灌溉而須對排水加以改善。合計57,000,000英畝之面積需要排水，幾及台灣耕地面積870,000公頃之三倍。此外尚有甚大之面積在多雨地帶有排水之需要。低濕沼澤地帶，往往土地肥沃，土層深厚，經排水後可變為良田。排水之投資常可獲得優厚之利潤。

耕地排水之目的為改良土壤之狀態以適應農作物之生長。排水改善可以增加農作物之產量及使土地之價值大為增加。此外排水不良，地下水位升高為鹼土形成之主要原因。巴基斯坦(Pakistan)每年因高地灌溉之滲漏水，使低窪地區之地下水位升高，並由於地面蒸發，鹼質累積地面終成鹼地，所損失之耕地面積甚大。此項事實見於1959年在巴國舉行之近東國家灌溉會議，巴國代表所作之報告。美國猶他州(Utah)

目前發生嚴重排水問題之地區，亦隨灌溉之發展而來。台灣亦有排水問題，面積雖無統計，但北起宜蘭，南迄屏東均有排水不良之耕地。台灣灌溉之對象為水稻，水稻之灌溉方式，田間經常在淹水狀態中，滲漏無可控制，如地下排水條件不佳因而發生排水問題實屬理所當然。台灣之海浦新生地如非先解決其灌溉與排水，將無農業上之價值。最近新竹所完成之海浦地示範區，經數月之洗鹼後，稻作之生長情形至為良好。但實驗亦證明如非繼續維持灌溉與排水之配合，則可能短期內即回復其鹼地之狀態。

耕地排水不良，對於作物生長直接間接之影響不止一端，影響產量，影響耕作，影響農時等固屬顯而易見，至於因作物生長不良，抵抗力弱而引起病害等情形亦常有發生。由於排水問題在農業發展上之重要性，各國政府均予重視。1846年英國政府即以鉅額款項協助英國與愛爾蘭 (Ireland)之農民進行農田排水工作。法國政府亦對農民給予金錢與技術之援助以解決其排水問題。美國政府對推行此項工作更為積極。經由研究，實驗與推廣機構，多方面對農民予以協助。各州成立排水區並制定排水法規。銀行對於排水貸款亦認為排水完成後土地之必然增值而作為可靠之保障。排水對農業發展上之重要性實不下於灌溉者也。

農田排水之規劃

農田設若有排水之需要時，須分析其問題之所在，及所能發生之後果，為規劃排水之依據。面積較大之農場，尤以在地勢平坦，土質粘性，或下層土壤有不透水層等情形，均易於發生或大或小之排水問題。如屬地面積水不能耕作，排水之需要自屬明顯。若設法引去地面積水，即可成為耕地。但一般情形非如上述之單純，大多數之排水問題為土壤過濕，積水難去，或地下水位過高妨礙作物根系之發展。因地面積水不能

耕作，排水之需要易於為農民所瞭解。但若地下排水不良而影響作物之生長，倘為害之程度尚非嚴重，則頗易為人所忽視。甚或土地之狀態原可維持作物之生長，排水目的乃為產量之增加，需要排水與否介乎兩可之間等情形。排水規劃必須詳細比較其效益與工程價值。

排水問題若純為排去地面積水，或為攔截地面逕流等設計，實際上與設計一渠道系統無異。但為除去土壤內所含過多之水分，以利作物生長，若地面經常積水，上層土壤當在飽和狀態。排去地面積水，當亦指土壤積水之現象同時獲得解決。但地面積水與土壤積水並非必須有連帶關係，即使在全無降雨地區，亦可能因高地之灌溉而引起低地之排水問題。故農田排水之規劃，首須研究問題發生之原因。如台灣之灌溉作物主要為水稻。農場單位面積小，給水路多而管理不善。一般灌溉方式為在許多小田區內越田灌溉。輸水路與田間滲漏均特別嚴重。實驗可以證明台灣水稻之需水量，如非在砂質土壤，應在一千公厘左右，亦即每秒立方呎(c.f.s.)之水量可灌溉約三十公頃。但在實際情形，一般水田之灌溉率不及此數之半。渠道滲漏未經調查，但以嘉南大圳之主幹線，其滲漏率已甚高，田間渠道滲漏當更嚴重。在此種情形之下，可能改善灌溉即同時獲得排水之改善。

另一種情形，排水計劃主要為宣洩豪雨。台灣年雨量約2000公厘。但分佈不均，與颱風俱來之豪雨，往往造成災害。台灣目前之排水規劃乃以此種情形為對象。如羅東大排水，員林大排水等均為排洩豪雨，保護農田而設。事實上台灣目前之防洪工程，主要目的亦為保護農田，約束洪水於河川以供排水。至於改良低濕地之排水，尚未有大規模之規劃。

農田之排水問題，大體上為屬於上述兩種情形之一。如為第一種情形，須研究滲漏水之來源與水量，及地下排水所以受阻之原因並進而求

其改善。第二種情形則須研究雨量及集水面積與積水對作物之不良影響，以作工程設計之根據。不論屬於何種情形，排水之規劃均應先作詳細之調查，收集資料以作詳細分析。目前台灣之土地已開發殆盡。一般而言台灣目前之排水問題，為在已有耕地上作排水之改善，非如在沼澤地排水以增土地。至於海埔地之開發，排水可能為一先決條件。但海埔地地形平坦，無除去樹木及整地等困難。排水規劃包括調查，研究與測量等工作，在先明瞭其問題所在與需要，及可能獲得之效果，然後進一步作工程之設計。

農田排水之方法

農田之排水情形，經研究瞭解之後，乃進一步就其問題以求解決之方法。排水乃為以工程設施引去一估計之水量，或以工程設施保護某一地區，使區外之水不能進入為害。排水通常可取三種方式：(1)明溝排水。(2)暗管排水。(3)抽水機排水。屬於保護性之排水則包括堤防，堰壩之建造，梯田或等高耕等作業，雖非直接排水但亦可認為與排水有密切關係。此類問題已多載於防洪與水土保持之書籍。農田排水不論其為明溝系統，暗管系統或抽水機，皆各有其適用之場合。排水系統負有集水與輸水兩項任務，抽水機排水仍須有排水系統相配合。

在通常情形之下，明溝乃用為排去地面積水，或導引較大之流量，往往高地排水可用於低地灌溉，其設計與一輸水渠道無異。但明溝用為排去土壤中之積水則頗不適宜。雖則有時可作為暗管系統出口之導水幹支線，但若用為代替暗管，集取田間之土壤水分，則有種種不利之條件。明溝斷面大，流量亦大，建築費可能較低但養護費則較高。因排洩土壤水須取決於土壤之透水性及計劃排水之深度，即使在大雨後明溝利於排洩地面逕流，間接亦即減少土壤積水，但如同時用為排去土壤積

水，則排水溝之斷面除依流量外更須依排水深度而設計之。如在砂礫土或河川氾地，土壤之導水率可能甚大，但此種土壤本身已缺乏良田之條件，且在此等土壤除非在特殊情形下不致有排水不良之狀態。排水不良之土壤，大抵為導水率低，因而進入集水暗管之流量較小。明溝須有最低限度之安定側坡，溝逾深則溝頂寬度逾大，將佔去大量之農田面積。此外如田間深溝排列，對耕作之妨礙至大。

暗管排水最適合於地下排水之用。農作物需要適當之空間以供其根系發展。以一暗管系統，作有計劃之排列，埋置適當之深度與距離，將可使土壤中所含重力水之部分集流於暗管系統排去。集水暗管之設計，乃根據土壤之導水率與排水深度，地形與排水面積等因素，計算暗管之間距與深度，及排列方式與暗管直徑。早期之地下排水乃以卵石、石礫等物，填入挖開壕溝，然後將土填回。此種方式易於淤塞。及後瓦管與三合土管之普遍使用，乃使地下排水有進一步之成功。尤以瓦管之應用較廣。目前世界各國，以瓦管排水所改良之土地已有廣大之面積，並獲得甚為良好之增產效果。

排水系統之設計，有時以明溝與暗管相配合。以暗管集水而匯集於明溝排出天然河道。甚或兩者兼用，以明溝排去地面水而以暗管系統排地下水。至於抽水機之使用多數在河川下游或湖沼周邊與圍墾地，將由集水系統匯集之水抽出堤外。故抽水機僅代替一排水系統之出口而已。

排水之效益

排水可以獲得改良土地之效益。直接可以增加產量，間接可以增加土地價值。農田如常受淹浸固然影響耕作，但土壤過濕或地下水位太高，作物亦難有良好之生長。地田淹浸其為害顯而易見，但土壤過濕或地下水位過高則農人易於忽略，以下各點為改善土壤排水所能獲致之

效益：

(1) 有助於作物根系生長：作物根系發展，深淺不同，在排水不良之地，僅能利用較淺之土壤，不特不能耐旱，且對於吸收肥料之範圍亦減少。

(2) 延長農作季節：春雨或雪溶之後，急待土壤速乾至適當程度以利整地。倘排水不良，土壤過濕，既不便於犁耕亦不利於播種。且土壤過濕，地溫較低，發芽不易。如在秋季收穫前，土壤過濕，作物延遲成熟，收穫後不及秋耕。雨期一至則只能待來年春耕。

(3) 減少霜害：排水不良之農田，往往地溫甚低，因此作物較為軟弱，易受霜凍之害，尤以早霜為可慮。換言之，地溫較高之田，所生作物較為強壯。

(4) 減少旱災：排水良好之農田，作物根系深入土中。稍有乾旱，亦能吸取下層土壤之水分，以維持其生長。反之根系較淺則易於枯萎。且粘重土質，在乾旱時表土常生龜裂，作物根系亦常因此受損傷。

(5) 增高地溫：濕土比熱大，溫度上升較難。故如土壤較濕則地溫較低。排水地較未排水地，土溫可高 3° — 8° C。地溫較高，作物易於生長。

(6) 空氣易於透入：土壤排水良好，空氣易於透入土粒間之空隙，空氣與土接觸促進養分之分解。可以增加施肥之功效。

(7) 雨水易於滲入：排水良好之地，雖有較大之雨量亦易於滲入。且當雨水滲入時，土壤孔隙內之空氣可以新陳代謝。如排水不良，雨水易於潑積田面，更有流失肥分之慮。

(8) 有助於肥料之分解與土壤之風化：土壤排水良好則地溫既高而空氣又較流通。氧化作用自然較為活躍。肥分易於分解，土壤亦易於風化。

(9) 有助於腐熟與硝化作用：排水良好之土壤，氧與氮之供應不

缺，有助於微生物之活動，促進土壤中植物質之腐熟，及使硝化作用不致受阻。如土壤水分過多，硝化作用可因而停止。

(10)防止鹼土之形成：空氣不流通之土壤，氧之供給減少。可產生有害作物之物質，如氧化亞鐵（ FeO ）之類。如排水良好，土壤水分保持向下移動之狀態，鹼質不致累積，表土蒸發作用不致使鹼質上升累積地面而成鹼地。

(11)減少病蟲害：小麥之銹病，馬鈴薯之病害等，大抵因土壤過濕，至於蟲害雖亦有因乾旱而發生，但由於土壤過濕而發生者亦多。

(12)減少表土沖蝕：排水良好之土壤，增加雨水滲入亦即以減少地面逕流，因而減少表土沖蝕。肥料溶解於水滲入下層土壤，增加施肥之功效。

以上各點為改善農田排水對農作物可能發生之效果。各種作物對排水不良之適應性亦有不同。排水之效益應詳細估計。此外一地區之排水改進後，土地之價值將可增加。如排水計劃涉及增加土地，繁榮地方等因素，甚至可視作國家經濟建設之一端。

排水之管理與法規

排水之管理不僅為構造物之管理養護。大面積之排水有複雜之排水系統。亦包括有對排水量之調節控制等問題。在規劃排水系統之時，如非對管理方法有妥善之計劃，工程設計將難以進行。如在灌溉系統須先取得水權，排水系統亦須有可以排出之權。一地區之排水，往往須經由相鄰之地方能排出。在自然狀態中，高地之水排往低地。但如某一地區以人為方法解決其排水問題，因而增加相鄰地區之排水困難甚或造成災害，則涉及法律上之責任。在計劃灌溉系統須先有適當之取水地點並獲得水權，在排水計劃中則須有適當之出口及經由相鄰土地排出之

權。爲配合此種需要，因而須有排水法規之制訂。

我國之排水法規包括在現行水利法規之內，但內容較爲簡單。台灣省現在灌溉事業管理規則，其中包括有關排水者數則，亦不完備。台灣省目前之農田水利會，主要任務爲辦理地方灌溉，間亦有排水工作，多數爲灌溉系統之排水。台灣之員林大排水與羅東大排水爲一政府計劃，性質半爲防洪。但台灣主要灌溉作物爲水稻，對排水之重要性不如灌溉。台灣亦無大量之低窪土地如沼澤等，因此排水事業在台灣尚未大量開展。但若干地區有地下排水不良等情形，值得重視。外國之排水事業，有極爲成功者，可供參考。

美國排水法規之基本要點，視排水事業爲一項集體性之工作，有關公共利益甚至社會福利。局部性之排水有以合作方式推行，但地域性之排水則有排水區制度。排水區之成立依各州立法之規定，亦如灌溉區之具有法人地位。有發行公債，強制加入與徵收受益費等權。

由於排水常爲灌溉計劃之一部分，灌溉系統之設計必須兼顧排水問題。排水渠道之管理與養護，一如灌溉系統之須有經常保養，使能保持排水之良好狀態。本章已概述農田排水之有關問題，以下各章再分別加以討論。

第二章 排水在農業發展上之重要性

地球表面之面積，約有四分之一為陸地。陸地之面積半數以上為寒冷或無表土，任何植物均不能生長。其他四分之一陸地為乾旱荒漠地區，故地球表面僅有約 $1/16$ 之面積（約12,000,000平方哩）可以生長植物。其中更有一部分由於地形、坡度、交通等問題不能成為農墾之地，如各地之森林與草原。所餘可以用為耕作之面積，或尚須作各種之準備與改善方可成為農田，如下列各項：(1)排水，(2)低地防浸，(3)整地，(4)旱地之灌溉與(5)水土保持。本書之範圍主要為排水及其有關問題，灌溉則已經上冊討論。

非農業用途之排水

排水為除去地面上或土壤所含不需要之水量。其應用範圍不僅在農業上為需要，在工程方面亦甚為重要。本書僅擬在農業範圍內討論排水，為闡明此點，故擬先將非農業排水作一簡述，以分別其與農業排水不同之意義。以下各章將純以農業排水為對象。

近世紀工程技術迅速發展以來，排水在工程上之應用漸趨重要。如在基礎工程之研究上即為一例。由於土壤含水量對於抗壓力有重要影響，大多數情形下，土壤之抗壓力可因土壤含水量過多而大為減弱。在土壤力學上可以有充分之證明。因此在基礎工程與土工方面，常須以排水方法控制土壤之含水量，藉以增加構造物之安全與安定性。為保護建築物之排水措施，在公路與鐵路路基上應用最廣，而影響道路安全之最重要自然因素厥為排水。如豪雨之後，涵洞不足以宣洩雨量，路基即被沖毀而此為一項明顯之排水問題。此外更如在土壩設計上，排水亦常為

最重要之設計事項之一。

現代之都市建設，完善之排水系統不特為居民生命財產與公眾衛生之安全保障，且直接關係都市之工商業，交通與繁榮。都市建築物如運動場，機場等之設計均須考慮及排水問題。此外在防瘧工作上排水亦為最有效之方法。

以上可以說明排水之應用不僅限於農業，而灌溉則純為對農業而言，但非農業方面之排水，本書不予包括。

排水與灌溉之關係

由於在農業上灌溉與排水有密切關係，在農業觀點而言，灌溉與排水均為使土壤水分處於適合作物生長需要之狀態。在環境因素上雖條件不同，但就問題之重要性而論則不能謂灌溉與排水對農業生產之影響，何者較為重要。在工程設計與規劃上，灌溉系統與排水系統雖以不同之方法估計流量，但系統之設計與建築方法均同樣以工程技術為基礎。茲以灌溉與排水學合編為上下冊，上冊所已敘述而可同樣適用於排水之資料，本冊不再重複。

為說明灌溉與排水之密切關係，可以任何一灌溉系統或田區為例。灌溉系統之構造物有若干項其目的純為排水並藉以為保護系統之安全者，如溢洪道(Spillway)，退水閘(Escape)等。甚或為沖刷泥沙之構造物，沖刷同時亦須排水。在田間情形，排水道甚至可作為灌溉系統之一部。在需要灌溉之地區，雨量不足或分佈不均。在雨量不足季節，灌溉系統發揮其效能，但在雨量集中之季節則排水系統為必要。在區域性之農田水利規劃上，灌溉與排水系統之關係更往往互相為用。故在農業上灌溉與排水有時須綜合予以討論。

另一明顯之例證可以圍墾地說明。如台灣省之海埔新生地，開發工