

萬有文庫

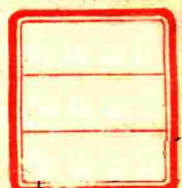
第一集一千種

王雲五主編

灌 漑

馮 雄 著

商務印書館發行



澆 灌

著 雄 馮

書 叢 小 學 工

編主五雲王  
庫文有萬  
種千一集一第

漑 灌

著 雄 馮

路 南 河 海 上  
五 雲 王 人 行 發

路 南 河 海 上  
館 書 印 務 商 所 刷 印

埠 各 及 海 上  
館 書 印 務 商 所 行 發

版 初 月 二 十 年 二 十 二 國 民 華 中

究 必 印 翻 權 作 著 有 書 此

The Complete Library

Edited by

Y. W. WONG

I R R I G A T I O N

BY FUNG HSIUNG

PUBLISHED BY Y. W. WONG

THE COMMERCIAL PRESS, LTD.

Shanghai, China

1933

All Rights Reserved

# 目錄

一、定義	一
二、世界灌溉事業之沿革	一
三、總論	一
四、初步研究	五
五、灌溉水源之研究	六
六、灌溉用水之品質	八
七、取水設備	九
八、蓄水	一二
九、輸水設備	一四
十、配水設備	二三

十一、開荒·····	二六
十二、施水法·····	二八
十三、灌溉用水量·····	三五
十四、過量灌溉之害·····	四四
十五、灌溉區域之洩水·····	四五
十六、灌溉之法律問題·····	四六
十七、灌溉事業之經濟問題·····	四九

# 灌溉

一、定義 灌溉 (irrigation) 者，人工設法引水潤田，求農功之有成，以補雨水之不足者也。其工事名曰灌溉工程 (irrigation engineering)，乃土木工程之一分科也。

二、世界灌溉事業之沿革 灌溉之法，起自上古。西元二千年前，埃及農家，已知爲蓄水配水之設備。在東半球之亞述 (Assyria)，美索不達米 (Mesopotamia)，波斯 (Persia)，印度 (India)，錫蘭 (Ceylon)，與我中國之西北部等處，及西半球之秘魯 (Peru)，墨西哥 (Mexico)，美國 西南境新墨西哥 (New Mexico)，與亞利桑那 (Arizona) 等處，俱從遠古以來，即有大規模之灌溉工事；蓋在此等區域，雨水稀少，雖對於普通農作物，猶未足以應其所需，欲求稼穡之有成，則必藉灌溉之助也。即在濕潤區域，如種植水稻，因其需水之多，亦須用灌溉之法也。

三、總論 灌溉工事，可分爲三項，即取水，輸水，及配水是也。取水爲從水源取水，其水或分自溪

河，或汲於井泉，或依水就下之性，或藉唧機風車之功。輸水為以取得之水，輸送至受灌溉之田園，其途徑或為水溝水渠，或為水槽水管，或穿山成隧，或跨澗架橋。配水為將水分配於田園各部，使作物分受潤澤，其法或為漫灌，或為洩灌，或為隱灌。取水輸水配水之方法，既各有數種，則某處灌溉工事，應用何數種方法，自當先作初步之研究，從若干方法之中，取其適宜者配合之，既得最經濟之結果，方可實施建築也。

世界上常年雨量在二十英寸以下，不足以得豐盛之收穫，而必需灌溉之地，面積極廣。此外在濕潤區域內，常年雨量多寡無定之處，施行灌溉，則得益厚者，其地亦多。凡亢旱區域之能否墾植，或墾植而能收若何之效果，俱視能得灌溉用水量之量以為衡。

據專家統計，在美國可取之水，僅足以潤亢旱區域十分之一之地，即在七千五百萬至一萬萬英畝之間，而在可以灌溉之地域中，已實行墾植者，不過一千五百萬英畝，散布於國境西部，如亞利桑那 (Arizona)，加利福尼亞 (California)，科羅拉多 (Colorado)，伊達荷 (Idaho)，蒙大拿 (Montana)，新墨西哥 (New Mexico)，俄勒岡 (Oregon)，猶他 (Utah)，得克薩斯 (Texas)

北達科他 (North Dakota) 南達科他 (South Dakota) 華盛頓 (Washington) 歪俄明 (Wyoming) 等省。坎拿大之最大灌溉事業，爲坎拿大太平洋鐵路公司 (Canadian Pacific Railway Co.) 所經營。其中最大之工事，在亞柏撻 (Alberta) 省境內，喀爾加利 (Calgary) 之東南地方。此灌溉區域，在紅鹿河 (Red Deer River) 旁，可墾面積約有四十四萬英畝。計畫中之渠道系統，共長三千英里；故不僅在美洲推爲最大者，卽以全世界而言，除印度外，餘處之灌溉事業，大於此者，亦罕見也。在歐洲，灌溉之法，通行於南部諸國，蓋沿羅馬人之遺風，如在意國之倫巴底 (Lombardy) 及皮德蒙特 (Piedmont)，法國之南部，及西班牙等，其業頗盛，但在歐洲別處，亦未嘗無有。印度之灌溉工事，規模宏大，他地罕儔，政府於其擴充，極爲盡力。在土耳其斯坦 (Turkistan)，有廣大區域，施行灌溉，多歷年時。土耳其政府，於底格里斯 (Tigris) 及幼發拉的 (Euphrates) 兩河流域中，設備灌溉工事，以圖恢復其地古時之盛況。埃及之灌溉工事，日以發展，在青尼羅 (Blue Nile) 及白尼羅 (White Nile) 兩河流域，皆有墾植之計畫。澳洲之行灌溉法，雖爲時不遠，而其區域之擴充則甚速。在古時盛行灌溉之地中，亦有多處今已不復使用此法；但在美索不達米地方，



則方將灌溉區域，大加擴充也。茲將一九一九年時，世界各國設施灌溉工事區域，列表如下。

地名

面積以英畝計

(一) 印度	四〇、七〇〇、〇〇〇
(二) 美國	一五、〇〇〇、〇〇〇
(三) 俄羅斯國	八、〇〇〇、〇〇〇
(四) 日本國	七、〇〇〇、〇〇〇
(五) 法蘭西國	六、〇〇〇、〇〇〇
(六) 埃及	五、三五〇、〇〇〇
(七) 意大利國	三、四六〇、〇〇〇
(八) 爪哇	三、〇〇〇、〇〇〇
(九) 暹羅	一、七五〇、〇〇〇
(十) 阿根廷	一、〇〇〇、〇〇〇

(十一) 秘魯

六四〇、〇〇〇

(十二) 澳大利亞

四五〇、〇〇〇

(十三) 坎拿大

四〇〇、〇〇〇

(十四) 夏威夷

二〇〇、〇〇〇

(十五) 斐律賓

一三〇、〇〇〇

總計

九三、〇八〇、〇〇〇

若將我國并其他各處計入，則總面積當在一萬萬英畝以上矣。

四、初步研究 凡研究一種灌溉事業計畫之是否可行或可行矣，而所需費用有若干，必將有關之一切問題，通行計及，乃能得一解答。入手之初，當調查水源是否充足，與灌溉而有用之區域，是否廣大？有時不能憑普通之觀察而即時決定，尚須估計雨量，測定水流，製作地圖，乃能推斷。既於此兩事無所致疑，乃進而測製取水輸水地域之詳圖，審其地勢之高下，別其地質之虛實，以爲計畫各種設備之根據。所計畫取水輸水設備之方法，可有多種，擇其最經濟者用之。主要輸水道之徑路決

定後，尙宜細測全區各部之高低，以定建築土工之分量。又宜細驗土質，以定可得良田之實在面積，相宜之作物，與需水之分量。此外若作物之市價，交通之便利等，亦當加以研究，方可估計收穫之能有幾何？是否足抵所費而有餘？凡作初步研究設定計畫，時時須估計建築之價值，以資比較，避免無益之費用，預測最後之利益，向使已見該計畫無利可圖，則可棄去，不致多耗測量之費。估計物價，務求詳備，而不可存心伸縮，應力使所得結果正確可靠也。

五、灌溉水源之研究 灌溉用水，或取自溪河湖泊，或鑿井取之，或仰給於大雨時蓄積之水，而在歐洲，復有利用城市流出之污水者。就西元一九一〇年時美國之統計而言，境內灌溉區域之河水者，居總面積百分之九十四。以理度之，世界各處灌溉用水情形，當亦相近。其餘則大部分爲鑿井取水。

如水源爲溪河，當先研究其所能供給之量。對於溪河之流量，應有充分之研究，須知其逐月分配之情形，并若干年來平均一年之總量。

關於溪河流量之記載，至少須歷十年之期，方可爲憑。以十年之間，大概可遇尋常之最低水位

與最高水位，而得流量分配之普通狀況也。若不能得長期之流量記載時，當立即實測流量，勿再耽延。如能歷時二年，復加以長期之雨量記載，則亦可約略推算平均流量。從溪河流量減去輸水設備中之漏水量及蒸發量，即得所能得之淨供水量。

在比較乾燥之地，不易從溪河得豐富之水，供灌溉之用，則可鑿井取水，類以在河流附近及山麓爲宜。若在寬廣之區，往往須掘地深一百至三百英尺，方得及泉。遇井水豐富時，用唧機取水，其動力或用風車，或用內燃油機，或用汽機，或用電動機。鑿井務使穿透含水沙層或礫層之全厚。井底用有孔之管，穿至粗礫層中，足以增加出水量。有時含水地層之上，覆被者爲不透水之黏土層或頁巖 (shale)，而地層之傾斜適度，則在低處可得涌流井 (artesian well)，井水自行升高，至與近處水源層含水之高度相仿。涌流井出水不假人力，故用於灌溉，尤屬相宜。深井出水量，隨井徑之大小，含水地層之構造與厚度，及水之壓力等，而異其多寡。若地質緻密，則水量小，若地質疎鬆，有礫石或砂石之厚層，則水源雖不高，而出水仍可豐富。井之直徑，不宜小於四英寸，亦不宜過大，若井底直徑大於八英寸，未見其合算也。

鑿井起水溉田，在我國北方，行之頗盛。在印度亦然，其中部諸省，共有十二萬英畝之田，取井水灌溉。在瑪德拉斯 (Madras) 省，有二百萬英畝之田，灌溉之水，仰給於四十萬口之井。在西北諸省，有三十六萬英畝之田，亦用井水灌溉。其井間有深至八十英尺或一百英尺者。或穿鑿於山石之間，而在平時，每井出水可潤濕田地一英畝至四英畝不等。但印度所開之灌溉井，實僅為灌溉渠或灌溉池之補助，蓋渠池之水，既經放入農田後，一部分復入地中，歸於井內，今之所用，即灌入田中之水，往復循環，無有底止，大足以增加用水之效率。在美國灌溉之業雖盛，然用井水溉田之例，僅見於西部諸省，而在他處尙少有之。

六、灌溉用水之品質 灌水之品質，頗關重要。溪河泉井之水，均含有多少之有機質及鐵質，浮游或溶解於水中，用此灌溉，不僅供給植物生長所需水量，且有滋養之肥料，隨入田園。惟含溶解物甚多之水，用時應慎察之，因其每使土壤積蓄鹼質 (alkali) 過多，以為植物之害。在諸種灌溉水源中，以城市污水，含肥料極富，故為最有價值。在歐洲大陸及英國，用污水灌溉，著有成效。如英國愛丁堡 (Edinburgh) 附近之克累根林尼草原 (Craigleniny Meadow)，法國巴黎附近戎內維力

(Gennevilliers)之田，德國柏林附近之田，意國米蘭(Milan)之田等，是其最著之例，在美國亦有多處行之。

七、取水設備 從水源取水，施於灌溉，其法有二：一爲分水分法，利用水就下之性，水自水源入灌溉渠，不假外力，此宜於溪河之水源。一爲起水法，將水自水源起至高處，引入渠中，宜於井泉之水源，有時於溪河之水源亦用之。茲就兩法所有之設備，分論如次：

(甲)分水分設備 從溪河取水，常就上游之處爲之。利用河身峻急之坡度，以引水入灌溉渠。請設例以明其法：凡溪河自山中發出，其坡度常急峻，或大至每英里降落十英尺至五十英尺。今設有溪河之坡度爲每英里降落十英尺。若灌溉渠在溪河上游處分出，其坡度爲每英里降落一英尺，則在距離十英里處，灌溉渠將高出於溪河上九十英尺，自可循高地而行，與溪河遠隔，而易於洩水入渠與河間之地，以潤濕之矣。在此坡度每英里降落一英尺之渠，若修治整齊，則水流之速當能適度也。

分水分設備常爲一座分水分壩 (diversion dam)，或堰 (weir)，以使河中水面，保有一定之高度，

及一座入渠門 (head gate)，以節制入渠之水量。壩中亦可設餘水門 (sluice gate)，以洩過量之水至下流，或於入渠門下方之渠道旁，設節水門，以洩過量之水復歸河，如此，入渠水量可愈如人意。此外尚有附屬設備，如放魚門，放水門，放沙門，各有其用，視情形之需要而定也。

(子) 分水壩 壩爲斷流阻水之建築物。堰爲容水漫過之壩。壩之作分水用者，常取堰式，許水漫過其上，故有漫水壩 (overflow dam) 之稱。分水壩有高低之別。低壩以設於平曠之地爲宜。因其被水漫過，故建築材料，當用不易受流水侵蝕者，如三和土及木料是。三和土壩在有石層作基時用之。遇壩基爲泥土或礫石，可用木椿擊入河底，再加厚板作頂，上面造木堰，或三和土堰，若其壩終年沒於水，則此法甚相宜。高分水壩在有適宜之良好基礎時用之，其式可依普通高壩之式。若於溪河之上游狹窄處阻水，而能減省造渠之費時，則可造高分水壩。壩之高度及式樣，應與當地情形相合，故各有其宜，並非一定。有時在較小之灌溉渠地主，無永遠設壩堰之財力，則可於河水漸落時，攔河堆積石塊柴枝，逼水入渠，迨水落日甚，加稻草沙泥於其間，以止其滲漏也。

(丑) 入渠門 在從溪河分水入灌溉渠處，必須有入渠門 (canal head gate)，以節制入渠

之水量。否則大水之時，入渠之過量之水，將漫溢渠岸，而致衝決，爲害匪淺。且爲使入渠之水，適合灌溉所需起見，亦當有此設備。入渠門之位置，應與分水壩相接連。其方向宜與溪河平行，即與分水壩成直角。此因水中常混沙泥，不宜使其流入渠中，將入渠門置與溪河平行，則沙泥易在入渠門外沈澱，或流過而不易越門以入，但亦有與溪河成直角者。入渠門之常式，爲設門柱若干，分全門爲若干孔，柱之兩旁有鐵製或鋼製框槽，以容水扉之升降。門多用三和土造，而水扉爲木製，或鐵製，或鋼製。門上常設步行道，而管理水扉之起重器械，即置於其上。通常水扉係積板而成，水由扉上入渠，但亦有用普通式樣之扉者。使水由扉下入渠，將扉提高降低，則可增減水量。所開灌溉渠，在入渠門一短段，當用碎石或三和土，造成側面及底面，以免爲水流冲刷所毀。

(乙) 起水設備 凡水源較農田爲高時，無論其爲溪河，或爲渠，或爲井，必用起水設備。如遇農田之面積頗大，而從溪河分水之處，其高度猶在農田最高處之下，故其下半部以分水法供給用水，而上半部則須有起水設備。又如水源爲鑿成之井，尤有起水之必要。大概在較大之起水設備，其水源以溪河爲多，較小者則常以井爲水源。起水之法是否可行，當視水價與出產之價比較如何，以



爲準。起水設備之開辦費雖可不多，但平日之管理費及修理費則頗不少。起水設備之效率最高者，爲唧機，其原動力或取自風車，或取自水輪，或取自油機，或取自汽機，或取自水電廠，種類不一，要以適應環境費用最省者爲佳。

在廣大之乾旱區域，風之運動歷長時期不息，則鑿井而安設唧機與風車，頗屬相宜。用風車時，宜兼設小蓄水池。一因風車起水之量不宏，若逕自放入農田，則其行不遠，旋爲土壤吸盡，而稍遠之處，卽難得沾潤。用蓄水池則俟蓄水稍多後，始放入田中，所布面積既廣，而滲入地中，亦得較深。一爲風車非盡可恃，其相宜之風速，爲每小時八英里至十英里，過小過大，皆使其效率減弱。風之起息緩急，旣不能盡如人意，而風車亦易於損壞。設在需水方殷之時，而遇風車失效，殆無法挽救，惟有蓄水以備不虞也。近來用水電廠發出之電，以爲起水之原動力者，頗非罕見。在原供城市用或工業用水電設備，於適宜之時日，取其餘力以供農田灌溉引水之用，一舉而備兩利，乃得計之事也。

八、蓄水 欲將溪河之水，盡取供灌溉之用，當爲蓄水之謀。河水之漲落豐歉，與田園需水之多寡，不得適符，其直接供灌溉之用者，僅爲恰在灌溉時期流下而適供需潤所有面積之量，此外之水，

若不設法蓄聚，則不能免於耗棄。有多處河流，其能利用以儘量開發灌溉之業與否，恆視蓄水之可行與否爲斷。

蓄水須造蓄水池 (storage reservoir)，而事之能否成功，繫於有無合宜之造池地址而定。如能在湖泊出口處造壩，即得成池蓄水，或攔河築壩，亦可爲之。設遇一河出水未足充滿水池，則可另造一渠，從別處引水相濟。凡此，皆當憑藉設池地點之高低測量與地質探勘，而後決定。

作灌溉用蓄水池之設計時，須依據逐日用水量，與預計漏水之量，而決定池之容量，因以定壩之高低長短，或從池之容量，而決定所能得逐日用水量。遇從別處引水入池，則此引水渠應有若何大小，亦須核計也。

蓄水壩與分水壩之造法，非盡相同。蓄水壩之高度常大，且不容水漫過。依其建築之材料而言，式樣可分四種，即土壩，碎石壩，鋼壩，及石工壩。依其形狀而言，又可分直壩與曲壩兩種。灌溉所用之蓄水壩，與作他項用途之蓄水壩，初無異點。其詳在本書另有專條述之，茲不具述。所當注意者，爲漏水之防止，若漏水甚多，不僅壩之功用減小，且水在壩內經行，易損壩身，而致潰決，大可懼也。

九、輸水設備 灌溉工事中，引水從分水處以至配水處之種種設備，總稱曰輸水設備 (conveyance system)。以總渠 (main canal) 爲主體，而水槽 (flume)，壓水管 (pressure pipe)，隧道 (tunnel)，水階 (drap)，放水門 (waste gate) 等等，或備或可缺，皆包括於其內。欲求送水與配水之節省，自不能不將渠道設備，審慎設計而建築之。茲就此數者，分述如次：

(子) 總渠 決定總渠之容量，須以三事爲根據，即灌溉區域之面積，用水之量，及預計滲漏蒸發之量是也。若已知此三事，而求所需容量，則可用下列公式。設  $c$  爲所求容量，以每秒若干立方英尺計， $a$  爲灌溉區域之面積，以英畝計， $d$  爲十五日用水最多時期中，地面應有積水之平均深度，以英尺計， $p$  爲滲漏蒸發所失之水量百分率。因流量每分鐘一立方英尺之河流，在十五日內送水之量，在一英畝面積上爲二九·七英寸，故得

$$c = \frac{ad}{29.7} \div \left(1 - \frac{p}{100}\right)$$

當作渠道計畫時，剖面應便較所需者爲大，此爲最安全之辦法也。

橫剖面同大之渠道，如他項情形亦相同者，以溼水半徑最大者爲具最大之流量。就尋常渠道之側岸傾斜度而言，則深度適得底部寬度之半者，爲具最大之溼水半徑。但造渠時，每因節費起見，不能全依此式。故適宜之式，常介乎流量最大者與造價最廉者之間。渠岸傾斜度在平坦地域爲二比一至一·五比一，在傾斜地域造隄，一面之渠岸亦如之。在傾斜地域掘土，一面之渠岸可爲一比一。傾斜峻急，則省開鑿之工，惟須以不致坍塌爲度。就地鑿渠，可利用所得之土造隄，合爲渠道之一部分，若掘土之量與造隄需土之量相等，最爲合算。惟掘出之土，有耗失收縮者，約當全量百分之五至十，亦應計及。

渠道取徑之曲直，可略依地面適當之等高線，使掘土與填土之量平衡，如是最爲省費。但在坡陀起伏之地，若過拘此義，反有令渠道繚曲之弊。在渠道轉灣處，水流有侵蝕凸岸之勢，故當設法以爲之備，而轉灣處弧度之大小，則當視土質種類，水流速度，與渠道剖面大小而定之。

渠道中水流速度固不可過大，以致侵蝕渠身，但當在此限制以內，儘量提高，既足以防止水草之生長，沙泥之澱積，又能使流量加大，而渠道之剖面積可小，藉省造渠之費，蓋有種種利益存焉。決

定最大之流速，以渠岸物質之種類為準。攷各種土石可用之最大平均流速，以每秒若干英尺計之，約略有如下述：極細之砂一·〇至一·五，粗砂一·五至二·〇，沙質土壤一·八至二·二，輕質沖積土壤二·〇至二·五，黏土質壩埽二·五至三·五，黏土三·〇至四·〇，細礫三·五至四·〇，粗礫四·五至五·〇，膠結沙礫六·〇至七·〇，岩石八·〇至一五·〇。總之，決定流速，一方面要使渠岸不受沖刷，一方面要使沙泥不致淤積。

在岩石中開鑿渠道，渠岸傾斜度，通常約爲一比四，而近於直立，渠底寬度，以深度兩倍爲限。其橫剖面亦有不取長方形而取半圓形者。石渠之岸及底，每用三和土敷成附壁。

近來灌溉渠道加敷附壁者，漸非罕見。附壁之利益，可分五項言之。一爲減少滲漏之損失。二爲在山坡旁渠道下方隄岸得免融軟，而潰決之險可除。三爲免下方土壤吸水過多，以至失其肥饒之性。四爲免流水侵蝕渠道，故水流可速，而建築之費可減。五爲減少渠道對於水之阻力，因之流速與流量俱增，而渠道橫剖面積可小，則在岩石中掘渠費工可稍省。設附壁之費，足與所得利益相抵，或且過之，則造此自屬合算。附壁之材料，常用水泥，或三和土，亦間有用木材者。三和土附壁厚自二英

寸至四英寸，或用鋼條，或用鋼網，增加其堅固度。

(丑) 水槽 (Flume) 用於引水越過河流溪谷低地等，又遇水道繞過山坡時，用之代渠道，以避鑿山之煩難。水槽之材料，或爲木，或爲鋼，或爲三和土，或併合用之。其下部構造，或爲成列之樁，或爲杙架 (Pile)，其高低適與地勢相合，材料亦有木鋼與三和土之異。木造水槽，橫剖面常作長方形，寬度約爲深度之二倍，用鉋平之木板，依縱列捶合而成，接縫處務設良法，使絕不漏水。水槽亦有作半圓形者，係用木板平行排列，加鐵箍結束爲之，如築造得法，常較方槽耐用。三和土水槽若造費非過昂，亦屬可用，有不易損壞之利益，其剖面之式，常取長方形。鋼造水槽剖面係作半圓形，用鍍鋅之鋼板合成，以木造杙架或鋼造杙架支之。在極低窪之處設置水槽，必造甚大之杙架，既費鉅款，且構造難堅，易被暴風狂雨摧毀，故水槽之用，常以在水道不過長，且升高不越二十英尺處爲宜，過此可用倒虹吸管 (inverted siphon) 代之。

(寅) 壓水管 壓水管 (pressure pipe) 中之水，受壓而流，故以爲名。在灌溉工程中，用此以引水繞過山坡，或用作倒虹吸管，引水越過低窪之地。水管材料常爲木，鋼，鋼骨三和土三種，間或於

水量不大壓力不高之管，用尋常暗溝瓦管，亦無不可。美國用木管最廣，其造法有兩種：一種爲取長木板，平行排成圓周，板之兩端接縫，務令參差不齊，管外用鋼帶束之。一種不用鋼帶，而用粗鋼絲繞於管外。木管直徑自四英寸至二十四英寸不等。木管乾燥時，朽壞極易，故其中須常充水，且當具有五十英尺高水柱之壓力，使水滲出管外，常保表面之潤溼，以阻止朽爛。若水柱壓力不及五十英尺，最妙不用木管而用三和土管。若水柱壓力過二百英尺，則用木管，未爲合算。因所需鋼料甚多，反不如用全鋼管之價廉矣。鋼骨三和土水管製法大別有兩種。一種依置管路線就地用型澆造，全管連成一氣。一種在工場中分段澆成，運至田野安置，以漿灰黏合其接縫，每段之長約八英尺。鋼骨三和土管受壓不能過大，以一百英尺高水壓力爲最大限度，過此卽不相宜。鋼水管係用鋼板屈曲成爲圓周，用鉚釘縫綴之，在小管亦有用鐸接法者。鋼管宜於水壓稍高之處，如在六十英尺水壓以下，用之卽不合算。鋼管較木管爲耐用，而三和土管則可永用不壞。木管較鋼管及三和土管爲光滑，故同直徑之管，以木管之流量爲較大。決定採用何式之管時，須將價值，經用年數，引水流量等事，一一計算比較，乃能下斷語。

(卯) 隧道 灌溉工程中，間或穿山造隧道，藉以縮減水渠長度，或爲引水越過分水嶺之用。引水隧道多有三和土附壁，既防土石坍塌，復減少對於水之阻力。橫剖面可爲圓形馬蹄形拱形不等。

(辰) 水階及水坡 掘土成渠，流水不能過速，故渠道坡度亦有定限。若地面傾斜甚急，渠道坡度不能與之相副，應分渠道爲兩段或數段，於聯結處容納過大之坡度，使上下渠道中水流均得保其速度之常，雖流水自高降低，暫時加速，然渠道不至受損。是項設備有兩種，卽水階 (drop) 及水坡 (chute) 是也。分述如次：

(甲) 水階 水階係將渠道落差 (fall) 聚於一處之設備。通常用木料或三和土築造，用木料者適於短時短期之用，用三和土者可歷多年不壞。水階之主要部分，中爲胸牆 (breast wall)，橫斷水道而聯結上下兩段之渠，下爲水褥 (water cushion) 及平臺 (platform)，水落於其上，減小其衝擊之力，旁爲翼牆 (wing wall)，以使水階與渠道之側岸相連屬，底部有附壁，以免水階上下渠道受水沖毀。胸牆之高與上段渠中最高之水位相等，而其底部與水階最低處相等。在胸牆上開



有若干梯形缺口，上邊與水量充足時之水面同高，下邊與渠道之底相平，缺口上大而下小。胸牆下之水褥爲一水潭，深可自一英尺至三英尺，橫剖面較水道橫剖面大一兩倍，以其積水之厚，故流入內後即減其衝撞之勢。近來用鋼骨三和土造水階者日多。通常水階之高度，不宜過十五英尺，再高則可分兩段或三段水階爲之。

(乙) 水坡 水坡 (chute) 係坡度甚大之水槽，或敷有附壁之渠，連結高低兩段渠道。水坡與上渠相連處之入口，既應適足放下所需水量，復須保持上渠水位之常度。水坡與下渠相連之出口，須有限制流水速度之設備，常爲水褥。水坡長度無定限，有至數百英尺者。上下渠道在水坡近處，俱應敷有附壁，防水沖刷。

(巳) 放水道 放水道 (waste way) 洩渠水入天然水道，遇渠岸有潰決之險時用之，故宜設於渠岸薄弱之處。有此，則逢渠岸潰決，立可將位於上方之放水道開放，非若僅恃關閉入渠門止水者之作用遲緩，故損害可減。放水道之式樣有數種。通常爲於渠道下岸開水門，引水由此入溪河。水門之底邊常較渠底爲低，以增加瀉水之勢。在渠道中，有時當放水道下方，設一漫水堰以助放水。

有時當放水道上方亦設一漫水堰以減小當放水道開放時流水速度而防止渠岸之受水侵蝕。渠道在放水道上方相近一段，應敷有三和土附壁，而引水自放水道至於溪河之水道，亦如之。在較大之渠，每隔十英里至二十英里，應有餘水道一處。

(午) 餘水道 當溪河之水侵入渠中時，或渠道有阻礙致水面升高時，或來源河水忽然盛漲入渠水量亦增加時，則可用餘水道 (spill way) 以防渠水漫溢。餘水道係就渠道下隄之一短段，用三和土敷造附壁，令隄面之高較餘處為低，而與預定最高水位相等。渠水一經升至最高之限，自然從此處流出，故水位不得再漲。

(未) 除沙設備 取水供灌溉之河，常挾有多量之泥沙，尤在大水期中為甚。在分水設備中，常設法屏除沙泥，然總有一部分混入渠內。沙泥之細者，雖在緩流之渠水中，亦浮游而不沈，而其粗者則隨水行動，逐漸沈澱於渠底。細沙泥從渠道放入田中，有肥沃之性，故為無害。粗沙泥壅塞渠道，則減其流量，澱積於蓄水池中，則減其容量，流過水槽水管等，則起侵蝕作用，故為有害，而亟須除去。除去粗沙之設備，有種種形式，通常為於渠道之一段放寬加深，在其下端造一低堰，在渠旁設瀉

沙門 (sand gate)，流水至此，減其速度，故粗沙將落下沈澱於渠底，遂可開瀉沙門以放去之。有多處灌溉渠設瀉沙門於入渠門之下方近處，俾入渠之沙，即時除去。若河水豐富，則瀉沙門可常時開啓，除沙不息，否則不時啓門以放洩積聚之沙。此種瀉沙門可兼作放水道之用，或作節制渠中水流之用也。

(申) 渠叉 由大渠分出小渠之處，謂之渠叉 (turnout)。無論爲從總渠分出支渠，從總支渠分出副支渠，抑從支渠分出田間溝洫，其渠叉皆應有節制流水之設備。渠叉之功用與總渠之入渠門相似，惟大小懸殊，且渠叉不須阻止渠水所挾泥沙，反應促其通過，藉免渠道之壅塞。渠叉自以採用下瀉 (under shot) 式門爲宜，因其不阻泥沙也。渠叉常設置於渠岸隄中，須慎防其周圍漏水，以免渠道潰決。小渠叉常僅爲從渠隄下分出水管，於管之上端加設蓋扉而已。渠叉之底應與來水渠之底相平，如不能時，可令渠叉較高，而於上游設堰阻水，備來水不足時，仍得藉此通水入渠叉。造渠叉以用三和土爲佳。

(酉) 涵洞 在渠道下開涵洞以放洩溪河之水，其渠道須由填土造成，方有設涵洞之餘地。

填土務須密實，與地面聯合無隙。涵洞或用鐵管，或屬三和土所造。涵洞與渠隄亦當聯成一氣。

(戊) 渠道跨越溪河之設備 在渠道與溪河交叉之處，無論溪河之水為常流或為不常流，應有設備以引其水，自渠道上方越至下方。其法有數種。遇渠底頗高，且溪河流量不大時，可於渠下開涵洞，或造水管，以放溪河之水。遇大河溪澗時，可架設水槽於河上，引過灌溉之水，或在天然水道之底安設壓水管，以引水。遇溪澗之流量無多，且歷時甚暫者，可由渠道上岸開缺口放入，而對岸設餘水道以洩去之，此法雖設備簡單，而有引入沙泥之弊。遇渠道上側溪澗雖多而俱不大之處，可另闢一渠，與原渠並行，承受諸水，直至聚水已多，乃引之跨越灌溉渠，亦為合算。凡計畫此種設備時，極須注意於最大流量之估計，總應寬留水路也。

(亥) 渠道與道路或鐵路相交之設備 在渠道與道路或鐵路相交時，常跨渠設橋，或於路下設涵洞。有時鐵路與渠道相平，不便設橋，則可於鐵路下造一短段倒虹吸管，放渠水流過。倒虹吸管應勿使流水減其下注之勢，又應勿使水中沙泥有在內沈澱之機會，此乃當注意之點也。

十、配水設備 配水設備 (distributing system) 之功用，為從總渠引水，以分灌諸區農田。

灌溉溝渠之分布與樹木之有幹有枝，正屬相似。總渠爲幹，而配水設備則其枝也。通常水從總渠分出，先入總配水渠（main distributing canal），次入總支渠（main lateral canal），復次入副支渠（sub-lateral），而終入田間溝洫。欲求得費省效大之配水設備，則必先製一詳確之地勢圖，方爲有所憑藉。地勢圖中之等高線高度之差，當在五英尺以內。圖中於不能灌溉之地，以及不備作灌溉之地，均須標明，而各家田地界址，以及土質差異，作物種類等，亦宜一一列出，以便隨處爲適宜之設計。

灌溉用水，從總渠引入支渠，宜隔適當之距離爲之，庶使支渠得盡其最大之灌溉效用，既依支渠之容量而儘量擴充灌溉區域之面積，復力求灌溉之便利。在總渠之側岸開缺口，宜力求其少，用免潰決之患，田間溝洫，例從總支渠或副支渠分出，而罕從總渠分出者，卽以此故。總渠常應設於灌溉區域中最高之地帶，使水能自行流入配水溝渠。前已述及。總配水渠之線路，亦當擇中高旁低之處，以使水之流入支渠無難。支渠又應與地面分水界相符合。如是則水之流通，方稱便利。惟配水渠之定線，尙有一極當注意之點，卽其傾斜度不能太大。否則水流過疾，刷損渠岸。在平原之地，配水渠

多可依農田管業之界址而開掘如是對於農家最爲便利灌溉區域平坦者居多決定支渠之線路，最妙使所掘出之土，恰足供造隄之用，合造成之隄與掘出之槽，適與所需之渠，寬深相符，如是，所費可甚節省。若地面有陵谷升降，則不能拘守此法，而當使渠道線路，半由鑿槽，半由壅隄，以此處開鑿之土，移供彼處填積之用，最爲合算也。在從總渠分出支渠處，支渠之底部應較總渠高一兩英尺，以免泥沙瀉入支渠之內，惟過高則不相宜。

論及配水渠之橫剖面，其深度與寬度之比，應較總渠爲大，如此，有種種利益，蓋既減滲漏蒸發之面積，復省渠上各種建築之費，且渠底水草，得日光少，蕃殖較難，則不至壅塞水流。爲使渠岸穩固起見，岸側傾斜度，不宜較一·五比一之傾斜度爲峻急，但亦不宜較二比一之傾斜度爲平坦。渠隄出水面之高度，隨地而異，如在其渠係由造隄培壅而成之處，或在隄面不寬之處，或在土質疎鬆之處，或在風力較大之處，則隄當較高。隄面寬度可自三英尺至六英尺，視渠之大小而定。遇水價昂貴，或渠道漏水過多，則可用三和土敷成渠道附壁，有附壁之渠當深，而窄岸側傾斜度可稍急，以省構造之費，且足以增加流速，俾渠中益無泥沙沈澱。遇此情形時，有改用水管者，亦屬省費。

總配水渠與總支渠之容量，視灌溉最盛時期之需水量而定。如在水量供給有常度之地，則渠之容量可爲每秒一立方英尺，供一百二十英畝至一百六十英畝地之用。如在水量供給不能常時富足之地，則渠之容量須爲每秒一立方英尺，供五十英畝地之用。副支渠之容量，視灌溉時最大用水量而定，故又隨灌溉方法而異。用洩灌法時，容量可爲每秒一至二立方英尺，用漫水法時，容量可爲每秒五至十立方英尺。在上述所需之容量外，尙當加入滲漏蒸發之量，如水含沙泥，并須計及渠道壅塞時所減之容量。合此數者，乃能決定配水渠之適當尺度。總之，寧可失之過大，不宜過小也。

配水渠之構造物，與總渠之構造物相似。當由總渠分水入配水渠之處，及由配水總渠分水入配水支渠之處，俱應有小渠叉 (turnout) 之設備，在配水渠越過低窪之處，可用水槽或水管以引水。若就地鑿土成渠，而坡度過大，可設水梯以調節之。此類構造物，材料或用木，或用三和土，大凡小渠叉及小水梯，俱可用木構造也。

十一、開荒 既經決定於某區域施行灌溉，首須開荒，即將此區域整理，以備作灌溉之布置也。開荒可分爲芟刈與平治兩步，茲分述於下：

(甲) 芟刈 乾旱之荒地，亦常有野生之草木，須盡行芟刈，方能供種植之用。如爲雜草或極小之灌木，宜用犁深耕，使其覆入土中，爲事既省，且腐化之後，便爲絕佳肥料。如有大叢灌木或大樹，則當鋸幹掘根而移去，或就地摧燒，視何者合算而行之。

(乙) 平治 未闢之荒地，坡陀起伏，不便施行灌溉。若不平治，而卽引水沾潤之，則有土壤受水不勻之弊，虛耗水量，難得滿意之結果。故平治一事，實爲切要之圖。平治固非將田土表面作成水平，但使其具整齊之平面，有適宜之傾斜度，傾斜度或全部一律，或稍有變化，總期與灌溉之方法相合。如地面之傾斜度頗大，而採用洩灌法時，地面之平整，可較用他法時爲遜，但仍以平整爲宜，而在洩底之地面，須有較整齊之傾斜度。如用平漫法，在土埂間之地面須有與土埂平行之整齊傾斜度，而其橫斷面須成水平。又在平治地面時，對於土壤之是否上下一致，亦宜注意。有種地域，上面爲薄土一層，而下層土壤，頗覺磽瘠，遇是種情形，若在不平治時掘土過深，反使磽瘠土層露出，不適耕種，故宜變通平治之規畫，以求合於地質所宜。若土地之價值頗不惡，竟可將掘起優良土壤，積存一處，俟地面填削後，復將其鋪於地層上也。



平治地面時，先用夫勒斯諾式刮土鏟 (Fresno scraper) 以削高填深，次用木板於土上拖之，即可得佳良之結果。若遇平治時運土頗遠，則以用有輪刮土器 (wheeled scraper) 爲宜也。

十二、施水法 灌溉施水之法，可大別爲明灌 (surface irrigation) 與隱灌 (sub-surface irrigation) 兩類。隱灌法所費較昂，不及明灌法之適用。明灌法分爲漫灌 (flooding) 與洩灌 (furrow irrigation) 兩項。漫灌法復有散水漫灌 (free flooding) 分條漫灌 (flooding between borders) 高低分區漫灌 (contour check flooding) 矩區漫灌 (rectangular check flooding) 及方塘漫灌 (basin flooding) 等法之別。洩灌法復有兩種：一爲深洩灌法，卽通常之洩灌法；一爲淺洩灌 (corrugation irrigation) 法。茲就此數種之法，分別敘述於後：

無論用何法施水田間，水溝須妥爲布置，以求用水省而收效大。先將水引至灌溉區域之最高處，由此用支溝引水至諸配水溝。

(甲) 明灌法 (子) 散水漫灌法 此法施於極平坦之田。在田之高邊開一水溝，其傾斜度宜爲一千分之一至三，於低處相距約一百十英尺處，開約略相平行之水溝，此溝之下方復開水

溝，與此同式，如是，將全田統行開溝。兩溝間之地須行平治。施水之時，從上方之田爲始，將上溝之去路阻塞，使水漫溢，或於溝側開缺口，放水入田中，浸潤全部，繼乃流入下溝之中。以下各段之田，均依此法行之。此法若行之不慎，則土壤之受水不勻，極易耗水，然如水溝布設開掘得宜，溝間地面平治整齊，且施水合度，則費時不多，結果佳良。有將此法略爲變通，開掘水溝，自配水溝引至農田中較高之地，水由小溝放入田中，浸潤全部，較之上法，結果爲佳。

(丑) 分條漫灌法 散水漫灌法，施於極平坦之田，然極平坦之田，較爲罕有，故復有分條漫灌法，以施於四界高低差異之田。其法爲於田中開若干平行之水溝，溝間距離自二百英尺至五百英尺。在每兩溝間，與之正交，設多數高五英寸至八英寸之小土埂，埂間距離自四十英尺至六十英尺。如是畫分田之全部，爲多數長條。溝與埂之布置，宜使溝之傾斜度小而埂之傾斜度稍大，但不逾千分之四或五，是以埂之方向，常依地面最大傾斜度之方向。地面愈傾斜，則長條愈短愈窄。兩埂間之地面，須依其寬度修治平整。

施水之時，將在第二埂上端之水溝阻斷，俾水折入第一埂與第二埂間，長條向其下端而流，淹

沒地面深數英寸。俟進水充足，長條下端已全潤濕後，即將第三埂上端之水溝阻斷，令水入第二埂與第三埂之間，如是依次行之。此法宜用於疏鬆土質之田，因以多量之水，自埂間長條之上端，瀉至下端，則全部沾潤，而不至滲入上端之下層土壤也。

(寅) 高低分區漫灌法 此法係於灌溉區域之高處，開一引水渠，由此歧分爲若干配水溝，依最大之傾斜度，自上而下。在兩配水溝間，依地面之等高線，造若干土埂，復於每兩埂之間，加造一橫埂爲界，如是將全田依其高低分爲多區。配水溝與等高埂，常成正交。上下兩等高埂高度之差，在傾斜頗劇之地，多不過九英寸，而在尋常農田，宜自二英寸至四英寸。兩埂間之距離，視高度之差而定，以小爲宜，俾土工得以簡省。埂高常在九英寸之譜，寬宜稍大，以六英尺爲宜，亦有大至十二英尺者。造埂之土，即取自田中高處，每區中地面，須平治齊整。一區之面積自半英畝至三英畝不等，以四分之三英畝至一英畝半爲適宜。

施水之時，最妙爲設一配水溝，以供相近之若干區公用，逐次放水入各區。但爲省費起見，亦可少設配水溝，而將水自上下相連之諸區中最上一區，引入於該區下方之等高埂，開一缺口，放水入

下一區，如是依次行之。此法之弊，即在上數區受水過多，反爲有害也。

（卯）矩區漫灌法 此法與高低分區漫灌法相異之處，在所分之區，係作長方形或方形，而土埂非依地面等高線堆成。地面傾斜較和緩之處，等高線近於直線，用此爲宜。每區之面積可自一英畝至五英畝不等，而以三英畝爲適中。地土屬沙質者，分區宜較黏土質者爲小。水可由一公共之配水溝，直接送入各區，亦可由上區遞流至下區，惟用後法，則上數區受水不無過多耳。

（辰）方塘漫灌法 此法將矩區漫灌法變通，求合果園之用。果樹栽植，縱橫成行，即於樹間堆設土埂，故埂之大體，有如棋局罫畫。土埂高自八英寸至十二英寸，視灌水之深而定。每間兩埂，設配水溝一道，因以引水入兩旁之若干方塘中。亦有不設配水溝，直使水由引水渠入最高之方塘，由是瀉至稍低之方塘，再至第三方塘，反復爲之。水在方塘中流行，宜不成直線，水由第一塘之左方入第二塘，應由第二塘之右方入第三塘，如是相間爲之。果樹四周用土培壅，以免受水浸沒，有害生機。此法行之得宜，地面受水較之洩灌法爲均勻，惟不無缺點，即易令地土結成硬面，而蒸發之量亦多，又開溝造埂甚多，工事過繁也。

(乙) 洩灌法 (子) 深洩灌法 所謂深洩灌法，爲別於淺洩灌法而言，即普通之洩灌法也。洩灌法最宜施於成行種植之作物，但亦可用之別處。先於田中開引水溝若干道，俱略成平行，次於兩引水溝間，用若干與之成正交之長洩連之。兩洩間之距離，可自二英尺至四英尺，以水之下滲恰使洩旁土壤全得沾潤爲準。故土質緻密而地面傾斜較大者，洩間距離宜小。洩之深度自三英寸至六英寸不等。洩之長度可自二百英尺至四百英尺，在土質密處可長，在土質鬆處宜短。引水溝與洩之方向，依地勢而定，要使洩中流水，自上而下，不覺阻礙，但以不致洗刷土壤爲限。如是洩之坡度，復視土質之疎密而定其大小，如在普通沙質壟埠地，坡度宜在千分之三至五之間，在土質甚密之處，坡度間有大至百分之十至十二者。通常在不甚傾斜之田洩之方向，即依地面最大坡度線之方向，但在傾斜過急之處，則洩之方向，却當與最大坡度線之方向斜交。洩之排列，視農作物種類而異，在栽植禾穀之田，可以農作物一行與洩一道相間，在新栽之果園，可於左右兩行果樹之中間，開洩兩道，在長成之果園，可於其中間多開溝數道，間有多至六道或八道者。

導水入洩之法，亦有數種。最簡單者，爲於上方引水渠之側，對數洩之末端，用鏟開缺口，放水流

下，在水量已足後，乃堵塞之。用此法放入數漚之水，難得均勻。別法爲設木製或三和土製之引水槽，以代引水溝，於其側壁開面積一平方英寸之孔，爲放水入漚之用。孔有掩板，可以隨時啓閉，而放水之量，易依定限爲之。土壤受水之量，視流水時間之長短，漚之寬窄深淺平斜，并土質疎實而定。流水時間自四小時至四十八小時不等。若漚之傾斜和緩，水行自遲，而土壤之吸水自多，坡度大則反是。用此法灌溉果園，當全部沾潤後，即將諸漚犁平，稍翻動表面土壤，令其疎鬆，壅於地上，既防止過量之蒸發，且使空氣在泥土顆粒間，易於流通。若不犁平，則地面有乾結成層之弊。如用此法灌溉栽植禾穀之田，則先將田整理，全行耕過，播布種子，次開成溝漚，施行灌溉，作物長成時，莖葉徧布地面，自不至乾結，即無庸再行犁田也。

在地面陂陀起伏而傾斜急劇之處，用漚灌法較用漫灌法爲宜，因其漚之布設，可依地面高下之勢爲之，不必定如漫灌法之須將地面修治平整，以致築造土埂，需費甚鉅也。且是法之潤溼草木根株，可以甚爲周到，而除漚之本身外，此外不必將地面沾溼。用此法如得其宜，則其用水實較漫灌法爲省。

(丑)淺洩灌法 此法將洩灌法變通，兼具漫灌法之性質，通常施於栽植不成行列之農作物，而宜於陂陀起伏不便施漫灌法之地。先將地面平治齊整，於其上開平行之淺洩若干條，深數英寸，洩間距離約二英尺至三英尺。決定洩之方向，以適使其具有和緩之坡度爲準，水流遲緩，則免冲刷地面也。

(丙)隱灌法 隱灌法者，埋水管於灌溉區域之地面下，引水入地，使土壤溼潤，以供作物根株吸取。因水不在地面經流，故蒸發之消耗減少，面用水自省。所用水管，可取燒熔黏土瓦管。主管直徑約四英寸或五英寸，接縫處用水泥密封，安設於農田之較高一邊，或循最高之徑路。支管從主管歧出，直徑約三英寸，其接縫不封，實以便放水外滲，接縫之外圍以碎石，用防泥沙之濫入管內。在主管與支管相接之處，置一阻水箱 (stop box)，乃一直管，底部封閉，上部與主管及支管相通，直管中設一滑動之塞門，以便阻斷管中水流。支管之傾斜度宜在千分之一至三間，其入地之深，應約離地面十二至十五英寸。

實施灌水之時，將經過沾潤區域而去之水管，概行阻塞，即移動阻水箱中之塞門行之，如是水

無去路，因受水源傳來之壓力，故即在該區域內，由支管接縫滲出於外方土壤中，也。用水之分量及時間，視土質氣候作物等而異，欲求其適當，必積有深長之研究與經驗方可。須使在離地面數英寸以下之土壤全得溼潤，惟不可使水氣直侵地面。土壤溼潤離地面之深淺，視作物之爲尙幼嫩者，抑爲已長成者而定，幼者宜淺，長者可深。隱灌法重在省水，故灌水過多，上溢下漏，皆所忌也。

隱灌法所費頗鉅，用水縱省，往往未足與所費相抵。又尙有一甚大之弊病，即植物根株喜向溼潤處伸延，由水管接縫而進，令其堵塞，或成爲密網，纏繞管之周圍，亦足損失效用。在一年收穫之作物，此弊尙少，惟栽植二年以上之作物，則不易避免。在用隱灌法而逢此弊之果園，可將其設備變更，於適當之距離，置備直管，連接於地下之水管，通至地面，設機關以阻斷水流，逼水上升地面，浸溼各株果樹下之土壤，如是則水管不至堵塞矣。

隱灌法僅在農產價值極鉅之地，始可施用。其最大優點即爲省水。然在他法亦可得之，如行漚灌法而用水管或不漏水之水道引水，則耗水自少，亦未必劣於隱灌法也。

十三、灌溉用水量 研究灌溉用水量，須分析灌溉用水之去路，而辨別影響於用水量多寡之



各種事物。灌溉用水之去路，可分爲四項：一爲從作物葉面發散。二爲從地面蒸發。三爲從地面流散。四爲滲入地層內出於作物根株以下，不復能爲其所吸收。此四者中，惟作物葉面之發散，爲有效之用途，其餘三項，須力求減少，乃得提高灌溉效率。茲就此四者，分論如次：

(甲) 作物葉面之發散 作物葉面之發散，乃作物生長從土壤取滋養料之作用。作物藉其葉面以從空氣中取碳酸氣，又從土壤吸收礦物質，以此與水相化合，乃構成作物之本體。故水實占作物體質之大部分，而作物枝幹中，不絕有水上流。水挾溶解之礦物質，由根上升，至葉面則發散而入於空氣中。作物內水上升之速度，每小時自一英尺至六英尺，亦有較此更大者。在潮溼土壤，作物葉面之發散較盛，可與每日失水半英寸之量相當，惟在土壤中，毛管水減少後，則發散亦漸緩。

(乙) 地面之蒸發 飽含水分之地面，蒸發之量有等於水面蒸發量之三倍者，然平常土壤蒸發之量，則遠遜於水面之蒸發。大概蒸發之量，與土壤含水量有比例。在未經墾闢之地，毛管水下至上一氣流過不斷，將水吸至地面，在已經墾闢之地，土壤中間隙不連續，故毛管作用受阻，而蒸發之量亦減。

(丙) 地面之耗失 灌溉時水從地面流散，而耗失有多至總用水量十分之二以上者，故不可忽視，而當慎擇灌溉之法，以期減少耗失之量也。

(丁) 滲透之損失 地面受灌溉後，上層一時飽含水分，而漸向下層流去，於時自在水受留住。若所施布之水不多，則灌溉水不至於深入地下，為作物根株所不及，若水量過多，則水有下滲過深，不能再為作物吸收者，則為耗失矣。沙土質壟塉土壤，能於入地深度六英尺內，留蓄二英寸之水，若所施之水有逾此量，則將向下流去。粗鬆土壤蓄水較細密土壤為少，故灌溉次數當較多。

觀上所述，可知作物一熟，所需灌溉用水量，隨作物種類，土壤含水情形，氣候之寒暖，雨量之多寡，灌溉時期，灌溉次數，灌溉方法等事而異。土壤與氣候非人力所可改良，而選定作物種類，灌溉之時期次數及方法，則屬於人事。故應隨時地而制其宜，以求灌溉用水之節省。在上文已隨處涉及其要義，茲更舉數事，詳細論之如次：

(子) 作物種類 作物之種類與灌溉用水量之量，有重要之關係。除果樹外，作物需水之量，與其生長時期長度成比例，時期愈長者，需水愈多。美國學者研究該國數種作物成熟需水之量，如下



橘類		落葉果樹	
		粗鬆沙質土壤	黏土及沙質壇埤
粗鬆沙質土壤	五・〇	四・〇	二・〇
黏土及沙質壇埤	三・〇	一・五	〇・七
	一一・〇	二・〇	一・〇
	三・〇	一・七	

(丑)土壤含水情形 灌溉用水之如何歸宿，與土壤含水之情形，大有關係。土壤中水分，可依性質，別為溼膜水，毛管水，及自在水等三種：溼膜水 (hygroscopic water) 為附着於土壤分子上極薄之溼膜，或竟與土壤化合，凡完全乾燥之土壤置於空氣中，自能吸取空氣中之溼氣，與之相結。溼膜水不經人工加熱，不能離去，故對於植物之生長，並無功用。毛管水 (capillary) 為土壤分子極小間隙所含之水，亦多附着於土壤分子之面。毛管水在土壤中之行動，係依毛管作用，故其行動可上可下，可左可右，但尋乾處而往。植物滋養所需水分，幾全仰給於此。自在水 (free water) 為土壤於毛管水外所含之水分，以其有向下降流而不受土壤約束之勢，是以得名。又稱為重力水。

(Gravity water) 亦以此故。土壤在雨後，或在灌溉以後，近地面之自在水，降向下行，可變爲下層土壤中之毛管水。

土壤含有溼膜水之量，隨土壤種類，土質粗細，空氣之溼度溫度等而異。少者如在粗砂中之含量，僅占土壤重量千分之五，多者如在黏土中之含量，可占百分之十七，在其餘土壤中之含量，介乎兩者之間。土壤含毛管水亦有極限，大約含水有百分之十五至二十時，卽不能再增毛管水之分量。毛管水在土壤中上升之速度，大約一日中自半英尺至二英尺，一星期中自十分之七英尺至四英尺，土質愈細，則其上升愈速，上升之距離亦隨土質而異，如在沙土僅有二英尺而在黏土可至五英尺。曾經墾闢之土壤，其中間隙居容積之百分之三十至五十，卽爲其含水之極限也。

土壤含水之情形，既屬依土壤之種類而異，故土壤之性質，與灌溉用水量之量，相關亦切。在粗鬆砂質土壤，用水量之量常二倍或至四倍於細密黏土質土壤所需，因在砂質土壤，大部分之水，深滲入地，而爲作物根株所不及吸收也。砂質土壤含蓄毛管水之量，不及黏土之大，故須常行灌溉，惟每一次灌溉，用水量之量則不宜多。就大概言之，土壤愈肥沃，則灌溉所需之水愈少。在地面耕過後，土壤翻

轉，則蒸發量少，而灌溉需水亦減矣。

(寅)氣候 在寒冷之地，作物之生長期較短，故灌溉用水總量較少，惟在生長期之中，有短促之時期，作物生長極速，其時需水頗急。在溫和之地，作物之生長期較長，故每次灌水之量雖可少，而總量仍多。

(卯)雨量 在作物生長期中，每遇一次降雨，可減少若干灌水之量。而非雨來適在施行灌溉之後，或其雨量過大，水多由地面流入河中，或滲入地層以下，則降水總可代灌溉之用。在潤溼區域，爲有充足雨水滋養田禾，故不用灌溉。在半乾旱區域，如用灌溉，則收穫之量可以加豐。在乾旱區域，雨量既微，自需灌溉，而降雨之時期及情形，俱與灌溉用水量關係密切也。

(辰)灌溉之時節 用有限之水量，以灌溉農田，而圖得最佳之結果，則必力求使在作物生長期中，土壤始終能得充分潤溼方可。則於灌溉之適當時節，不能不審慎擇定矣。在春季佈種之時，或作物生長之初，田中土壤須全潤溼，故在耕種之先，當施行灌溉一次。或於首年之秋冬行之。然如先有雨澤，則此舉可從省略，且其灌溉須遲至需水之象已著時行之，方爲有益。因可令作物根株，爲

近求水分之故，得以儘量伸張也。自第一次灌溉後，各次灌溉，亦咸須審察情形而定其適當之時節。作物葉面之發散水分，隨作物之生長而增加其分量，故在作物生長最盛時，灌溉之水量宜大，如在秋熟之作物，其生長最盛之際，恰在夏季，亦即水分蒸發最速之時，故在此期中灌水，尤宜加多。作物生長既足而入成熟時期，則其需水之量亦減。

(巳) 灌溉之次數 決定灌溉之次數，與作物之種類，及土壤之性質有關，故應研究土壤能含蓄水分之量，水分從作物葉面及土壤表面蒸發而失去之速度，作物能忍受而不至槁死之乾燥程度，及作物生長時期等四項。依作物之種類論之，小麥需灌溉三次至五次，玉蜀黍在意國需灌溉三次，在印度需灌溉十五次，以五次至七次為適中之數，馬鈴薯需灌溉二次至四次，自其將近開花時始灌溉之。果樹及葡萄之灌溉次數，多者隔七日為之，少者可隔四十日，美國加利福尼亞 (California) 省之果園，如土壤為能蓄水者，自五月至八月，每月灌水二英寸，如土壤粗鬆者，則每月灌水三英寸。種水稻之田，須常沒於水中。依土壤之種類論之，則粗鬆土壤較之細密土壤，所需灌溉次數為較多也。

在適當之範圍內，農土灌溉，用水愈多，則收穫愈豐，然收穫之增加，未能隨用水量之增加而並進，故用水量亦自有其最經濟之限度，過與不及，固屬非宜，如所有之水，不足以供全區域之用，則當求最適合之面積，以期用水能得最大之利益。曾有人研究以定量之水，施於大小不等之甜菜田，其所費所穫，有如下表所列：

同量之水分 布於大小面 積之農田	灌溉水 之深度	每英畝收穫 甜菜之量 (以噸計)	共計收穫 甜菜之量 (以噸計)	每噸甜菜之 價(以美金 圓計)	總計甜菜之 價(以美金 圓計)	每英畝種植 之費用(以 美金圓計)	總計種植之 費用(以美 金圓計)	淨利(以美 金圓計)
一英畝	水深三 十英寸	二一·〇	二一	五	一〇五	六〇	六〇	四五
二英畝	水深十 五英寸	一九·五	三九	五	一九五	六〇	一二〇	七五
三英畝	水深十 英寸	一八·六	五六	五	二八〇	六〇	一八〇	一〇〇
四英畝	水深七 英寸半	一六·三	六五	五	三二五	六〇	二四〇	八五

觀上表可知求每英畝最大之收穫量，係將所有之水施於一英畝之田，但求最大之淨利，則須



將其水施於三英畝之田也。

十四、過量灌溉之害 如灌溉用水過量，則不僅無益，且有大害。耗費可貴之水，固無論已。農田化成沮洳，收穫大減，或至全無出產。其甚者，土壤中鹼質上升，而其田遂不能供種植之用。在印度埃及土耳其斯坦等地，皆曾有此種現象。而以美國而言，乾旱區域經灌溉成爲農田，有因耗水過量之故，致再成爲不毛之地者，面積有百分之十五至二十之多，凡此皆由於農家之疏忽，并非不可避免。土壤中鹼質之種類分量，各處不同，最普通者，有硫酸鈉、氫化鈉及碳酸鈉等。論其來源，蓋皆出於當初巖石之分裂，因氣候乾旱，故未能濾去，而仍遺留土壤中，若在潤溼之地，則已早溶解而流入河海矣。

鹼質爲害之大小，視作物之種類而異。作物依其抵抗鹼質之能力，由強自弱，可排列如次：(一)

- 鹹水草 (salt grass) (一) 鹹水矮樹 (salt bush) (二) 棗樹 (date palm) (四) 甜蘿蔔 (sugar beat) (五) 大麥 (barley) (六) 紅蘿蔔 (radish) (七) 向日葵 (sunflower) (八) 豆類 (bean) (九) 豌豆 (pea) (十) 葡萄 (grape) (十一) 薊 (artichoke) (十一) 橄欖

樹 (olive) (十三) 黃蘿蔔 (carrot) (十四) 小麥 (wheat) (十五) 橘 (orange) (十六) 芹菜 (celery) (十七) 杏樹 (almond) (十八) 燕麥 (oats) (十九) 無花果 (fig) (二十) 馬鈴薯 (potato) (二十一) 葱 (onion) (二十二) 梨 (pear) (二十三) 桑樹 (mulberry) (二十四) 梅樹 (prune) (二十五) 桃樹 (peach) (二十六) 蘋果樹 (apple) (二十七) 黃梅 (apricot) (二十八) 檸檬樹 (lemon) 依美國加利福尼亞省之試驗，如蘋果樹在離地面下六英尺以內，每英畝含鹽三千磅之土壤，已大受傷害，而橄欖樹在每英畝含鹽六千磅之地，猶能生長茂盛也。

十五、灌溉區域之洩水 灌溉區域潤溼過度，致鹼質上升，補救之法，惟洩水為有效。洩水用瓦管埋於地面下三英尺至五英尺深，土壤中過多之水，自能流入，經此放入溪河，或注於井內，再用唧機起出。所流之水，由地面向下行，將溶解在內之鹼質，一同帶去。如此辦法，謹慎行之，雖含鹼質甚多之地，亦可逐漸改良，而種植適當之作物。故洩水設備，實與灌溉設備，有相成之關係也。

又以灌溉區域之尋常洩水論之。在山坡上，受灌溉之農田，從上方農田灌溉後流出之餘水，復

供下方農田之用，而高處農田之餘水，復可供灌溉低處草地之用，如此，則虛耗之水量可甚微。在平坦區域，事與此異，用過之水，往往須有適宜之處置，土壤之含水已飽滿不能再容，則洩水問題，自爲重要矣。

十六、灌溉之法律問題 灌溉用水，多取自溪河，溪河不僅專供此一項用途，往往有航行之便，擅水電之利，且人家日常用水，類仰給於斯，故灌溉用水，不得不受節制，而種種法律，隨以生焉。在法律上，有三種學說。羅馬法視河水屬於國家，用水之權，應從國家之許可而得之。英國法視使用河水之權，附於臨河土地之所有權，故河旁佔有土地者，即可用其本界內之河水，但不可減其分量與損其品質。美國法視河水之所有權存於公衆，而用水者應受省政府之節制。印度之灌溉田園最多，其用水亦歸公家管理。

美國乾旱地域之各省，除亞利桑那 (Arizona)，加利福尼亞 (California)，科羅拉多 (Colorado)，蒙大拿 (Montana)，及華盛頓 (Washington) 外，均立有關於灌溉之法律，依法凡人欲求使用灌溉之水之權者，必須向省政府呈出與法律所定事項相符之證據，乃能得之。在此諸省，并科

羅拉多，從溪河分出水流之設置，由省政府派人管理，而水之分配，則依根據各省法律所得之權利爲之。在亞利桑那，加利福尼亞，蒙大拿，及華盛頓省，欲用水灌溉者，向政府請求註冊，後建築輸水之設備，而實行用水，卽爲取得用水之權，受政府之保護也。

美國農家於灌溉工事有獨自建築管理者，亦有聯合鄰近農家協同任之而不取正式之組織者，計此類農田，佔美國有灌溉工事農田總面積五分之一。至於大規模灌溉事業之最普通組織，則取股票公司之方式，以用水者爲公司之股東。依一九一〇年時之統計，全國灌溉農田有三分之一，用水由灌溉公司供給。此外一小部分，用水由灌溉區域所管理之水道供給。灌溉區域 (Irrigation district) 爲公立機關，有發行公債之權，以所得債款，作爲基金，用於設備灌溉工事，并有收稅之權，以所得稅款用於還債付息及作辦公之費。一八九四年時，美國國會通過揆立法 (Carey Act)，由中央政府給予各轄有乾旱土地之省區，以此種土地一百萬英畝，但各省區須爲其設備灌溉工事，於是有一小部分地域，依此法而墾闢。至一九〇二年，國會復通過墾務法 (Reclamation Act)，由中央政府設立墾務局 (Reclamation Service)，施行灌溉工事，其費用由出售公地得價內支給。

此法規定用水者應償還中央政府所出建築之費，以後此項設備即爲用水者所有，中央政府復以所得之款，用於別處灌溉工事，令基金之運用，得以周而復始也。自行此法以來，最初十年內，依此計畫之灌溉工事，所包括之農田面積，計有三百萬英畝而已，受灌溉之面積，則有五十萬英畝。依揆立法及墾務法而施設之灌溉工事，皆屬終歸用水者所有，故謂美國之灌溉事業，概將由用水者管理可也。

印度之灌溉事業較大者，類由英國政府經營管理，依農家收穫所得，抽取稅款，以求利益。若以受灌溉農田之面積而言，則其工事由各地方政府以及私人或團體所設備者，約居全部之半。

埃及之灌溉事業亦由政府經營管理，向農家收稅取利，與印度相同。

澳大利亞之灌溉事業，多爲地方政府所辦理，向用水者收取水價。

意大利之灌溉事業，制度未曾統一，引水渠有屬於中央政府者，有屬於省政府者，有屬於各地方團體者，亦有屬於私人者，私人管理之渠，建築之費中央政府及省政府予以補助。

巴西政府對於各地灌溉設備，亦取獎勵政策，與意大利相同。

墨西哥之灌溉事業，由私人設備工事而受政府之獎勵，并有銀行之設立，以爲興業者求經濟上之便利。

十七、灌溉事業之經濟問題 在世界各處乾旱區域，農田不可離灌溉，故灌溉事業可充分發展，僅受水源問題之限制。在尋常雨量充足之區域，偶遇乾旱時期，卽於農田施行灌溉，每足以增加收穫，爲利匪淺，惟須審察土壤雨量之多寡，及泄水之狀況，而後行之，以求有利而無害。如在土質充實之田，偶因乾旱之故，十分灌溉之後，忽逢大雨，土壤受水過多，其損害禾稼，或猶較乾旱爲甚。又逢連年雨水盛多之時，農家對於灌溉設備之保養，易致置之度外，忽遇乾旱，欲施行灌溉，方加修理，則已坐失時機。此所以在不甚乾旱之處，灌溉事業之發展甚緩也。

凡水源非盡可利用也，蓋開水渠，造水槽，設水池等，設備之費至鉅，若水源距離農田過遠，則開辦費之利息，每超過增加收穫之值，故不合算。惟將來人之生齒日繁，種植之法愈精時，則田價增加，而需用鉅款之灌溉設備，自可逐漸進行。在世界各處，目前所已經舉辦者，祇爲費用較省之計畫也。

