

臺灣水利

灌溉專輯

臺灣水利出版委員會出版
臺灣省農田水利協進會發行
中華民國五十九年三月三十一日

臺灣水利

灌溉專輯

臺灣水利出版委員會出版
臺灣省農田水利協進會發行
中華民國五十九年三月三十一日

編印臺灣水利學術論著分類專輯序言

沈 百 先

威廉史麥利序第一版大英百科全書有云：「實用應該是每一個出版物的主要的目的。」加爾文序第十四版更曰：「現代生活，沒有充分的時間來搜尋知識，却有更多的需要去應用知識。」旨哉兩學人之言！誠欲知識與應用需求無間，學術分野必由博而約，求專求精，尤以自然與應用科學爲然。我國藝林故有類書之編，採輯羣書，以類相屬，如藝文類聚，太平御覽諸書，皆爲便於知識應用而作也。

臺灣在日據時期，嘗發行日文「臺灣之水利」雙月刊七十八期，於臺灣水利之研究發展，不無足以徵考之文獻，惜未選譯，徒付庋藏。光復後前臺灣省各地水利委員會聯合會（臺灣省農田水利協進會前身）以銅版油印出版「臺灣水利」季刊數期，後以故停刊。嗣於民國四十二年與中國水利工程學會合作成立臺灣水利出版委員會，百先受推忝主其事，即於是年六月六日大禹降申之辰復刊。發行宗旨，以鑽研水利學術，介紹水利新知，報導水利建設，蒐集水利資料，宣揚水利政策，而側重於臺灣水利問題之探討，水利事業之研究發展，及進步之宣揚。其後聯合會復出版「水利通訊」月刊，以報導各地水利活動爲主旨，間亦有學術研究之作。前者已出版六十餘期，後者一百八十餘期，統計共載學術論著不下八百篇，皆學者專家精心佳作，或從事水利同人之經驗實錄，洵爲工作參考及教學補充之良好資料。惟內容包羅廣泛，卷帙累積浩繁，本刊出版委員會爲求携用簡便，爰將兩刊中學術論著及報導資料加以精選，分「氣象與水文」、「治河與防洪」、「水庫與大壩」、「灌溉與給水」、「地下水與鑿井」、「工程器材與施工」、及「水利行政與管理」等類編印專輯，陸續出版，類復分篇，以便尋檢，是亦師古類書之意。專輯之編，決定於四年前，延擱至今，時間上雖不免有失早觀之快，而內容上却收增廣充實之益，可爲愛護兩刊讀者慰也。與其事者，協進會揚理事長羣英蔡總幹事炎輝主持發行，章總編輯光彩、易副總編輯任負責選編，張錦富、趙重慶、吳南松諸先生，蕭藝華、蔡玉瑛兩女士分任協助，百先與諸委員則欣觀其成。是爲序。民國五十七年歲次戊申四月於臺灣大學。

灌 溉 專 輯

目 錄

第一篇 概 論

題 目	著 述 人	卷 期	年 月 日	頁
1. 美國灌溉事業團體之介紹	陳 增 鑑	1	3 42 10 1	1
2. 美國之灌溉政策與灌溉事業	薛 履 坦	2	2 43 6 6	2
3. 泛談灌溉	劉 鄭 合 譯	2	3 43 9 1	6
4. 介紹噴水灌溉	江 作 義	2	3 43 9 1	10
5. 灌溉水源之估算和運用	駱 安 華	9	2 50 6 1	22
6. 大甲溪谷關、天輪調整池羣之運用與灌溉之配合	周 嘉 會	10	3 51 9 1	34
7. 論臺灣灌溉開發之新課題	黃 慶 銓	10	4 51 12 1	46
8. 用於灌溉工程上之地籍圖研究	張 啓 濱	12	2 53 6 1	68
9. 臺灣旱作灌溉計劃初期推行工作概況	駱 安 華	12	3 53 9 1	76
10. 澳洲灌溉研究中所遭遇的困難	陳 楊	13	4 54 12 1	84
11. 二十年來之農田水利建設	王 道 隆	15	2 56 6 1	91

第二篇 灌溉原理與灌溉方法

題 目	著 述 人	卷 期	年 月 日	頁
1. 臺灣灌溉方法之探討	周 禮	1	1 42 6 6	105
2. 臺灣灌溉水之品質	李 祿 先	3	2 44 6 1	103
3. 水稻之灌溉用水量與灌溉方法	金 城	3	4 44 12 1	115
4. 用水量之試驗及應用	李 昌 綱	4	3 45 9 1	121
5. 溝灌法之探討	霍 雨 時	5	3 46 9 1	121
6. 田區最適長度之設計公式	霍 雨 時	6	3 47 9 1	123
7. 地面灌溉法之原理及設計公式	霍 雨 時	7	3 48 9 1	131
8. 灌溉量水通常之誤差	鄭 惠 漢	8	1 49 3 1	137
9. 灌溉水品質檢定方法之介紹	郭 魁 士	9	3 50 9 1	146
10. 輪流灌溉與土地重劃	周 禮	9	4 50 12 1	152
11. 地面灌溉法中對計算平均土壤吸入水深度之討論	霍 雨 時	9	4 50 12 1	151
12. 臺南之甘蔗旱地之灌溉時期及次數之比較研究	張 玉 鑽	9	4 50 12 1	157
13. 臺灣雜作灌溉之探討	駱 安 華	10	2 51 6 1	173
14. 水稻灌溉水量之研究	駱 安 華	10	3 51 9 1	178
15. 灌溉土壤之調查和試驗	駱 安 華	11	1 52 3 1	191
16. 旱地之土壤水分控制與灌溉對於作物生產之影響	張 玉 鑽	11	3 52 9 1	213
17. 甘蔗旱地灌溉土壤之水分收支動態研究	張 玉 鑽	12	1 53 3 1	227
18. 旱作物灌溉	劉 如 松	12	3 53 9 1	245
19. 畦溝、田埂間及噴洒灌溉之評價方法	吳 純 宏	13	4 54 12 1	265

20. 臺灣蔗田灌溉土壤凋萎係數之研究	張 玉 鑽	13	4	54	12	1		284
21. 測定畦溝灌溉土壤滲水性質的方法	李 次 珊	14	4	55	12	1		293

第三篇 灌溉工程與設計

題 目	著 述 人	卷	期	年	月	日	
1. 參加美國哥倫比亞河流域灌溉工程報告	劉 溶 業	1	3	42	10	1	 303
2. 灌溉渠流量與斷面之研究	王 俊	1	3	42	10	1	 311
3. 渡槽與倒虹吸進出口漸變段之計算	易 任 之	2	4	43	11	10	 323
4. 灌溉標準量水建築物——巴歇耳量水槽	金 以 濟	3	4	44	12	1	 337
5. 規劃大型灌溉工程計劃	唐 民 譯	4	1	45	3	1	 349
6. 灌溉工程的進步	陳 克 誠	4	3	45	9	1	 352
7. 北非阿爾及利亞的灌溉工程	朱 聯 通 譯	5	2	46	6	1	 355
8. 取水口之位置選擇	張 啓 濱	6	3	47	9	1	 357
9. 灌溉抽水工程規劃摘要	靳 德 沛	6	4	47	12	1	 361
10. 澀青灌渠內面工	鄧 祥 雲 譯	6	4	47	12	1	 376
11. 灌溉渠道之安全設施	丘 國 旋	7	1	48	3	1	 382
12. 昆斯藍 (Queensland) 灌溉渠道之混凝土內面工	鄧 祥 雲 譯	7	1	48	3	1	 387
13. 灌渠之膠質粘土沉澱封襯法	鄧 祥 雲	7	2	48	6	1	 392
14. 彎曲之雙曲線應用於渠道上之商榷	王 正 身	7	3	48	9	1	 400
15. 灌溉水井之礫石圈及井孔管	薛 履 坦	7	4	48	12	1	 406
16. 渠道厚實內面工	鄧 祥 雲 譯	8	3	49	9	1	 416
17. 嘉南農田水利會柳子溝圳渠首重建工程簡介	朱 榮 彬	9	2	50	6	1	 422
18. 混凝土渠道接縫設計	丘 國 旋	9	2	50	6	1	 429
19. 地面灌溉系統之設計步驟	雷 雨 時	9	3	50	9	1	 433
20. 墨西哥灌溉渠道之混凝土內面工	鄧 祥 雲 譯	10	1	51	3	1	 437
21. 經濟渠道坡度之決定法——渠道坡度分配法	郭 朝 雄 譯	10	4	51	12	1	 446
22. 抽水機灌溉與設計	劉 春 雄	11	3	52	9	1	 459
23. 白河水庫計劃東山灌區工程設計與施工	黃 慶 銓	11	4	52	12	1	 475
24. 旱田整地工程規劃研究	張 啓 濱	11	4	52	12	1	 482
25. 灌溉渠道長斜坡土方之安定分析	莊 獻 洲	12	4	53	12	1	 490
26. 大甲溪與大安溪下游地區已有灌溉改善之規劃 工作總論	水利局第十工程處	13	2	54	6	1	 497
27. 灌溉工程構造物設計之研究	黃 毓 嵩	14	1	55	3	1	 517
28. 小型灌溉構造物與混凝土預鑄磚塊	方 兆 麟	15	3	55	9	1	 526

第四篇 灌溉管理與經濟

題 目	著 述 人	卷	期	年	月	日	
1. 嘉南大圳的灌溉和管理	嚴 祖 驛	1	3	42	10	1	 544
2. 灌溉工程經濟分析之步驟與研究	李 積 善	2	1	43	3	1	 545
3. 對於本省灌溉制度之我見	李 次 珊	2	4	43	11	10	 550
4. 灌溉計劃之經濟分析——成本與效益	薛 履 坦	4	2	45	6	1	 553
5. 陝西省渭惠渠灌溉工程及管理制度之檢討	易 任 之	4	3	45	9	1	 555
6. 灌溉效益概念	周重松、曹永祥	11	3	52	9	1	 570
7. 臺灣灌溉效益估算方法之研究	駱 安 華	12	1	53	3	1	 575
8. 灌溉效果之研究	周 重 松	12	3	53	9	1	 593
9. 水稻灌溉需水量及其用水管理	李 金 道	13	2	54	6	1	 604

美國灌溉事業團體之介紹

陳 增 鏞

本省灌溉事業之基礎，在各地水利委員會。其辦理長蘊影響農業經濟至鉅。邇來各界人士對此深為關切，至於此項水利事業組織之經營情形，各方毀譽不一；究竟如何求進步，正由有關當局暨水利先進碩彥研擬中。筆者日前偶然獲睹美國「合作灌溉公司之組織與運營」(Organization & Operation of Cooperative Irrigation Companies)一書，其中簡介彼邦灌溉事業各種主要組織型式，而特別對於共同灌溉公司(Mutual Irrigation Company)之組織管理經營等等，根據調查資料作有系統之報導，以其普遍而重要故也。拙意他山之石可以攻錯，蓋截長補短之義，是書不無可資借鏡處。公暇餘暇予以述譯，譯稿多三萬餘言，第以本刊篇幅有限，且內容範圍狹隘，恐非一般讀者所感興趣者，爰摘取組織一部份作一簡介於後；至全部譯文俟整理竣事，送存臺灣省水利聯合會資料室，各界人士若欲窺全豹，請逕向該室借閱。

美國西部農業大部份依賴灌溉。該地灌溉事業除私人事業暨聯邦壟殖組織外，主要為共同公司，灌溉區，及商業灌溉公司等三種型式。在一九二九年美國全部灌溉土地中，由共同公司、灌溉區及商業灌溉公司之灌渠灌溉者各佔百分之三二·一，一七·七及六·三〇。茲就該三項組織型式分別簡介如下：

一、共同公司(Mutual Irrigation Company)：共同公司是社會團體，不以營利為目的之合作事業。乃由一羣認股人之志願行動所組成。其所持有股份應繳納公司各項賦課，如不繳納，其股權即行喪失。此項組織型式之特點：①不以營利為目的，②私人性質及③農民志願結社。法律並不強制任何一人必須參加共同公司，其所以參加者往往由於農業經濟上之需要。

二、灌溉區(Irrigation District)：是公共灌溉組織，非志願性質，並且為州以下之政治區劃

。按照某一區域內需要成立灌溉區之土地所有人所創製明文規定程序，並由區域內選舉人投票議決而組成。灌溉區一旦宣告成立，區域內任一土地所有人，均應負擔一部份灌溉區經費。嗣後除政府當局明令劃出區域之土地外，區域內任一土地均須繳納灌溉區賦課，如不繳納，則此一土地即按照滯納稅款售賣辦法，售賣給政府或灌溉區。

三、商業灌溉公司(Commercial Irrigation Company)：商業灌溉公司係私人志願性質。其主要目的係在營利，由一羣謀利者組成；對於農業社會之繁榮與否，則不感興趣。此種公司在農業社會中之任務，與市區中公共給水公司之任務相似。其收入係向公眾或有契約關係之私人售水所得。

茲就上述三種組織簡評如下：

一、目前個人單獨引水灌溉已屬匪易，必須羣策羣力以達成灌溉要求，根據調查，共同公司乃達成此項目的之適當組織。惟共同灌溉公司大多適合於開發價值較大區。為目前最普遍而重要組織之一。公司所發行之公司債券，僅對公司資產有留置權，因此在公司業務未有相當發展以前，不易舉債。但其償還債務之成績，一般尚稱優良。

二、在某種情況下，一羣需要灌溉之人，無力單獨負擔全部費用，惟若與他人共同來負擔，則屬可行，此即灌溉區之特殊目的。易言之，灌溉區適合於較難開發而不失有開發價值者。目前較易開發者十九已經完成，所遺者均屬此種情形，故灌溉區應運而生，其重要性抑且逐漸駕凌共同公司之上。灌溉區之賦課對於土地有留置權，因而可於建設或置備資產以前，先期發行債券。換言之，可以舉債建設，於建設完成以後，以賦課來償還債務。

三、商業灌溉公司一度被認為游資投資之優良場所，惟現在大多已為共同灌溉公司或灌溉區所取代，其重要性已逐漸減低。

美國之灌溉政策與灌溉事業

薛 展 坦

一、引言

人類文明係隨水源而發展，美國地大物博，天然資源極為豐富，經不斷之努力經營，故其物質建設之成就，實為全世界之冠。Jean Brunhes 曾謂：「人類之任何事業，均為部份「人力」部份「土地」及部份「水量」三者之混合結晶。」換言之，即一切物質建設完全建立於人力土地及水三要素之上。

美國之土木事業，可分為三大時期，第一期為鐵路時期，第二期為公路時期，第三期則為水利時期。第三期起自最近十五前，政府興辦各項水利工程之大計劃，層出不窮，採用多目標政策，且以整個河流作為一整體，對於河水之控制與分配各種標的之利用，全盤統籌運用，以達「水」「土」最合理及最大之利益，故近十餘年，水利事業乃為美國最大之成就。水利事業之範圍甚廣，

包括「防洪」「灌溉」「築港」「航運」「給水」「水電」及「水土保持」等項，其中「防洪」「航運」及「築港」三項，由陸軍部負責，「灌溉」由內政部墾殖局辦理，「給水」則都由地方政府主辦，水電多由人民經營，此外「水土保持」則由農業部水土保持局主管。在韓戰發生前，聯邦政府一九五一年預算內所列水利事業費總額共計一、三二九、五〇〇、〇〇〇美元，其中以軍部之防洪經費最大，計五三四、三〇〇、〇〇〇元佔總額百分之四一，墾殖局經費次之，計三五四、四〇〇、〇〇〇美元，佔總額百分之二七。茲先就美國灌溉事業發展之經過及聯邦政府之灌溉政策，敘述如後，藉供各方之參考。

二、灌溉事業之範圍

美國本土四十八州，約以西經一百度劃分為東西南部，分界線附近地帶之平均年雨量約為二〇英寸，由此線往東，則雨量豐沛，足敷農作為之需要，由此線往西，則大部份為雨量不足之荒漠，如不施以人工灌溉，即不能耕種。美國之灌溉事業，係

由內政部墾殖局 (Bureau of Reclamation) 主管辦理 (該局係根據一九〇二年墾殖法案之規定，先成立墾殖事務所，於一九二三年始改稱為墾殖局)，其使命即為辦理西部乾燥及半乾燥地區之灌溉工程，以利耕種，而達開發西部之目的。現在西部十七州之灌溉面積已達一千九百餘萬英畝，佔全國灌溉總面積百分之九十以上，其經費來源，係由聯邦政府將出售公地收入，撥充墾殖基金，俟工程完工後，由受益農民，分四十年無息償還，至一九四九年六月三十日止，上項墾殖基金之總額，已達一億八千萬美元之巨。

三、灌溉政策發展之過程

甲 初期—人民自由發展政策

美國本土全國土地之總面積為十九億英畝，其中聯邦政府佔有之國有地達四億五千八百萬英畝，國有地十分之九位於西部十一州中，佔四億零七百萬英畝，開發西部之初期，人民可自由憑價購地，至一八四一年國會通過置產法案，規定必需在該地區之居民，方有購地之權，並限制每人以一六〇英畝為限。一八六二年為獎勵移民起見，將上述辦法修正凡性情善良之人民，願意居住該地從事開發者，祇需繳納手續費，即可承租土地。一八七五年政府將加州 (California) 拉森 (Lassen) 地方荒地出售時，規定以引水灌田為購地之條件，是為局部推進灌溉之始。一八七五年通過荒地法案 (Desert Act)，按照每英畝為一・二五美元之價格，人民得購買公地六四〇英畝 (後減為三二〇英畝)，但必需於三年內完成地區內之灌溉。一八八八年政府撥款十萬元，調查西部各河流域之多寡，土壤之種類，研究灌溉之可能性等等。一八八九年雖通過卡雷 (Carey) 法案，獎勵各州政府辦理州內灌溉工程，規定任何州政府如願負責辦理灌溉工程，聯邦政府可撥贈荒地一百萬英畝，惟因各州缺乏資金，水文資料又不齊全，事實上並未能推行有效。故初期之灌溉事業，完全為人民自由發展政

策，以哥羅拉多州 (Colorado) Arkansas 河，Fort Bent 附近美國灌溉 (一八三二年) 及 Utah 州大鹽河之灌溉工程 (一八四八年摩門教徒舉辦) 兩者為最早，其後陸續於哥羅拉多及加利福尼亞兩州興辦之灌溉甚多，惟規模均較小，至於築壩蓄水灌溉之工程，範圍較廣，需款亦大，實非私人財力所能舉辦，故初期之灌溉事業，進展甚緩。

乙 後期一國營灌溉政策

自老羅斯福總統 (Theodore Roosevelt) 於一九〇一年開始執政後，渠認為政府既可撥款興辦潮濕地區之防洪等工程，則對於乾燥地區之灌溉工程，似亦應由政府撥款辦理，使全國各地區之人民均能得到水之利益。經國會多次辯論後，卒於一九〇二年通過有名之墾殖法案 (Reclamation Act)，規定由聯邦政府出售西部十六州國有地所得收入 (Arizona, California Colorado, Idaho, Kansas, Montana, Nebraska, Nevada, New Mexico, North Dakota, Oklahoma, Oregon, South Dakota, Utah, Washington, Wyoming 等十六州)，應專戶存儲，作為墾殖基金 (Reclamation Fund)，用以辦理灌溉工程之需，俟完工後，由受益農民分期免息償還，其期限最初規定為十年，後以期限過短，農民無力負擔，乃將償還期限於一九一四年延長為二〇年，至一九四〇年又為四〇年，此外為獎勵移民起見，規定每家農戶之用水權不得超過一六〇英畝，若大地主之土地超過規定面積時，則仍只分配一六〇英畝之用水權，其超出土地概不予灌水，但如將超過土地出售時，則購主可重新請求用水權，每戶以一六〇英畝為限，與我國現擬推行之限田政策，原則相同，使政府辦理之灌溉事業，其利益屬於大眾，而不致為少數地主所壟斷也。自此項法案通過之後，由聯邦政府撥款辦理灌溉事業之政策，方為確定。

丙 墾殖基金來源之補充

墾殖基金為美國整個灌溉事業之基本財源，循環運用，藉達灌溉自給。惟自推行後，因售出之公地不多，而農民償還欠款之期限又長，故基金之活動力大減，自一九〇七年至一九二〇年間之十四個年，僅能完成一項新興灌溉工程，於是國會於一九二〇年通過礦油租借法案 (Mineral Oil Leasing

Act)，規定於公地範圍內油田所繳之礦稅，應提出百分之五二・五撥充基金，後因政府保留油源，油稅來源減少，一九三九年復通過 Hayden-O'Mahoe 修正案，將一九二〇至一九三八年間海軍保留油田內政府所得全部收入撥充，於是墾殖基金，乃獲充足穩固。

丁 以水電收入作為灌溉財源之一

政府辦理灌溉工程於施工期內，需要動力甚多，灌溉所蓄水源，可以隨時發生電力，除供施工所需外，尚有剩餘，於不妨礙灌溉事業之情形下，可將電力出租，以十年為期 (一九〇六年動力法案規定)，是為以電力收入輔助灌溉之萌芽。至一九二八年國會通過博爾德大峽工程，由國庫撥款一億六千五百萬元，交墾殖局興修，其主要目標，雖為灌溉，但同時可供其他標的之用，即所謂多目標計劃是也，一九三九年通過灌溉事業法案 (Reclamation Project Act)，承認水電為辦理灌溉工程之重要因素，任何工程中，除防洪及航運有關部份，應由國庫負擔工費外，其他部份之工費必需於四十年內償還，灌溉部份可以免息外，其餘電力給水及其他用途，並應償還利息，電力工費之利息，不得小於三厘，給水工費之利息，不得小於三厘五，由內政部決定之。美國墾殖局辦理水電工程，以一九〇八年鹽河羅斯福壩之一千瓩水電廠為最早，至一九〇二年水電變為辦理灌溉之主要因素後，所有灌溉計劃均改為多目標制度，至一九五〇年為止，該局管轄之水電廠共計二〇處，裝置發電容量達三、二九四、〇〇〇瓩，此外施工中之電廠，尚有三六處，將來完成後，尚可增三、一三六、六五〇瓩，依照一九四九年統計，全年發電量達一八〇億度，繳入國庫之電費收入，可達三千一百萬元。

四、美國灌溉事業之成就

根據一九四四年之統計，全國之灌溉總面積達二千一百萬英畝 (折合八百五十萬公頃)，其中依照墾殖法案之規定，於西部十七州舉辦灌溉工程之總面積一千九百餘萬英畝 (折合七百九十萬公頃)，佔全國總灌溉面積百分之九三，直接受益之農民有二十七萬餘人，茲將西部十七州之耕地面積灌溉面積及農戶人數列表如下：

州 別	農 民 數	耕 地 面 積 (單位千英畝)	農 民 數	灌 溉 面 積 (單位千英畝)
Arizond	13,142	652	9,634	736
California	138,917	7,536	87,205	4,953
Colorado	47,618	6,035	28,085	2,699
Idaho	41,498	2	636	2,026
Kansas	141,192	22,817	636	96
Montana	37,747	7,439	12,997	1,555
Nebraska	111,756	19,596	7,156	632
Nevado	3,429	489	3,072	674
New Mexico	29,695	1,957	14,299	535
North Dakota	73,962	20,817	206	23
Oklahoma	164,790	14,088	74	2
Oregon	63,125	3,276	15,597	1,129
South Dakota	68,905	16,525	708	56
Utah	26,322	1,248	23,543	1,124
Washington	79,887	4,290	15,974	520
Wyoming	13,076	1,845	7,793	1,354
Texas	384,977	27,469	15,110	1,320
	1,439,838	159,517	270,629	19,434

西部灌溉區之產品，就面積而言，以牧草為最大宗，佔西方牧業所需飼料之半數，就收入言，則以甜蘿蔔蔬菜水果為最大宗，在一九四一年用灌溉區內甜蘿蔔所製之糖，以每人每月三磅計，可供一千萬人之用。故西部灌溉區域內之農產品，可以大量輸出，而由其他各州輸入不能生產之工業品，以鹽河流域灌溉區域為例，一九四九年輸出農產物總數量，共計三五、〇〇〇輛（火車），其價格總額達七千三百萬美元，而自東部輸入之貨品，共計五

〇、〇〇〇輛大部份為汽車卡車農業機械拖引機凍冷機及鋸木機等，其總價達一億八千八百萬元。再據一九四九年估計，輸入西部灌溉區域貨品之總價值達十七億美元之巨。故西部各州因辦理灌溉工程後，不僅農產品增加，且人民之生活程度亦因之提高，其總收入增加後，人民繳納國家之稅收，亦隨之大增，茲根據墾殖局所選擇七個灌溉區人民繳納聯邦政府之稅金，列表如下：

灌 溉 區 域	人民收入繳付聯邦政府之稅金額(美元)	
	一 九 四 九 年	一 九 一 六 年 至 一 九 四 九 年
鹽河灌溉區域 (Arizona)	24,643,000	164,229,000
玉馬 Yuma 灌溉區域 (Arizona-California)	2,500,000	17,242,000
波伊西 (Boise) 灌溉區域 (Idaho)	9,465,000	56,568,000
Yakima 灌溉區域 (Washington)	19,257,000	136,480,000
Shoshone 灌溉區域 (Wyoming)	260,000	2,629,000
Sun 河灌溉區域 (Montana)	368,000	2,917,000
黃岩下游灌溉區域 (Montana, North Dakota)	433,000	3,887,000
合 計	56,926,000	383,952,000

上述七項灌溉工程之總工程費，據一九四九年估計，約共爲一億六千八百萬美元，而區域內人民總收入繳納國庫之稅金，一九四九年共達五千六百餘元，平均每英畝繳納稅金五二元，自一九一六年至一九四九年止卅四年繳納稅金總額共爲三八三、九五二、〇〇〇元（平均每英畝繳納稅金三五〇元），較政府所耗工程費總額，超出二倍以上。上述數字並非說明政府之投資與償還問題，且政府除灌溉工程以外，尚有其他開發事業，惟可明瞭西部若干州灌溉事業在區域經濟及國家經濟系統上之重要，與辦灌溉工程後，不僅可容納大批人口，增加農業生產量，提高農民之購買力，改善人民之生活程度，更爲東部中部工業開闢廣大之新市場，故雨澤稀少之荒地，必俟興辦灌溉工程後，方可達繁榮之境地也。

五、美國灌溉事業之管理

由墾殖局興辦之灌溉工程，於完工後，其管理養護，仍由該局負債，但在可能範圍之內，交由用水農民之組織辦理，其辦法，大致由區域內之農民組織用水戶協會，或成立灌溉區及用水公司，由會員選舉職員，主持會務，政府與人民訂立之償還契約，亦即以此種團體爲對象。至於蓄水工程之管理及養護，則均由墾殖局負責，以策安全。用水農民每年應繳納之水費，分爲（一）攤還政府所撥工程費部份，（二）團體之管理費，（三）用水費，在灌溉季節前，不繳者不予放水。

六、結 論

美國水利事業之發達，爲世界各國之所不及，而其灌溉事業之成就，又爲各方所稱道，歸納其發展過程，可得如下之結論：

一 墾殖必先灌溉

人類文明隨水源而發展，雨量豐沛地區早已開發殆盡，所剩地廣人稀地區，大抵爲雨量稀少之乾燥地帶，如不先辦理灌溉工程，勢將無法墾殖。美國之墾殖事業，初期未注重灌溉，進展甚緩，自墾殖局成立後，積極舉辦灌溉工程，不及五十年，西部十餘州旱區之發展，乃有一日千里之勢。

二 灌溉事業應由國家經營

美國爲最民主最注重自由企業之國家，但旱區之灌溉事業，自改爲國家經營政策以後，迄未變更，亦無人反對，因荒漠地區亦爲國家富源之所在，開發利用，政府責無旁貸也。

三 灌溉工費採用基金俾還自給

辦理灌溉事業，時期較久，需款亦大，美國雖爲世界最富之國家，仍採用公地收入作爲墾殖基金，循環運用，藉達灌溉自給，其後多目標水庫盛行後，更確定以水電收入爲發展灌溉之基礎，並未增加國家之負擔，而始終爲政府所辦理。工程完工後向受益農民徵收工費，將償還期限延爲四十年，而不取利息，尤爲公允，人民披荆斬棘，開墾荒溪，變爲沃壤，利益雖屬私有，而其功勞，亦爲國家，免其利息，以酬其勞，實亦理之當然也。

四 水利事業應以流域爲整體 作多目標之開發

灌溉計劃雖以灌溉爲中心，但自多目標水庫完成後，蓄水即有利防洪，放水灌田，亦可利以發電或改進航運，此外流域內土地冲刷之阻制，河源地帶之護林及水土保持工作，均需全盤籌劃，方能達到「水」及「土地」之最大及最合理之利用也。

泛 談 灌 溉

鄭 家 鑫 合 評
劉 定 志

本文係農復會水利工程組組長史密斯先生 (Mr. T.R. Smith)，於去年五月廿五日在臺北市土木工程座談會所發表者，特為譯述，以饗讀者。

灌溉是一個大題目，是一樁偉大的事業，因篇幅有限，時間匆促，恐難詳盡敘述。灌溉本身實際上是一種古老的文化，但灌溉工程，却是晚近才發展的，恐怕尚未超過一百年。其最大的發展，還是近五十年的事。其中多數發展且與美國墾務局 (U.S. Bureau of Reclamation) 之存在有密切的關係。我的意思並不是我們所享受的一切進步，是產生於此一機構，乃是說許多方面的發展都由此創始。在有些方面，該局是具有獨特的貢獻，而另一些事件，它是利用已有的智識，再加以改進的。美國墾務局創設於一九〇二年，於去年舉行五十週年紀念，曾有一位工程師從臺北去參加這個慶典。實際上在美國屬墾務局灌溉下的二、〇〇〇、〇〇〇公頃土地，不過約等於私人與合作組織所有土地的四分之一弱，在世界灌溉土地面積上僅佔一極小之百分數。然而在美國，它却包含着最艱鉅與最費錢的開發。在墾務處 (Reclamation Service 墾務局的前身) 創設以前，聯邦政府曾派許多工程師到印度去考察灌溉系統，並且美國有些早期的灌溉工程計劃，是根據他們考察的結果。可是近五十年來，墾務局却有工程師回到那裏去作顧問了。

美國早期的工程計劃，頗為簡單，通常築壩於河上，由此引水自然流入渠道，再輸至灌溉地區。當時大多數灌溉體系還是靠騾馬牽引的工具建築的。

隨着時代的邁進，天然河流中的水已不夠用，於是灌溉工程計劃包含着更複雜的建築物，需要蓄水庫與穿山引水了。同時畜力牽引設備，也被卡車曳引車和挖土機 (draglines) 取而代，更由於這些機械使建築物的設計方法和形式有所改進，因而使更複雜的蓄水庫和引水系統得以建築了。一九

三〇年胡佛大壩 (Hoover Dam) 開始施工，該壩，高二二一·三五公尺，迄今仍為世界最高壩，施工時，用索道架於峭壁之峽谷上，以運輸一切材料與設備，送至壩與廠房之內。這索道並用以澆置混凝土於壩土，而每一批混凝土，都是利用一種設備能自動而精確地配合各種成份的重量拌和而成的。

其實一切的進步，並非完全由於機械化，同時也是在許多技術方面力求進步所促成。一九二〇年試驗載重法 (Trial Load Method) 倡用於壩工之設計上。利用此方法，首次能將壩之拱圈與懸臂斷面間的載重精確地分配出來，因而使更薄更高而有一定安全率的拱壩斷面也可能了。大約在同時一種低溫的水泥也成功了，它可減低當其凝固的時候，因水化作用所產生的熱量，又可減少大塊建築物凝固期間的膨脹及冷卻後的龜裂。同時發明了一種用於大塊混凝土建築物的人工冷卻法，此法將捲曲之水管並排地埋入建築物內，用一種冷卻劑川流不息地通過這些水管，以消除水化作用所生之熱量。所有這些技術性的工作，都是首次用在建築胡佛大壩的主要工程上。

其時在土地與實驗室內，又均提倡混凝土控制法的實用。在理論與試驗的共同推進下，一種適合於不同條件和各種強度的混凝土拌合法因而產生了，對於混凝土的養護方法也有所規定。試驗證明了各種方法的正確與精確性，對這些方法，現在且是廣泛的應用於各種混凝土工程了。

墾務局在一九三〇年設立了一個水工實驗所，許多水工設計均用模型作試驗，因此可以決定：水躍 (Hydraulic Jump) 的基本理論，溢流壩的水流狀態，通過閘及閘門的水流狀態，以及許多水工建築物的水理特性。

灌溉技術始於一九三〇年。由於基礎灌溉，可使混凝土壩設計技術大為進步，並可大大地防止混凝土壩底水的上舉力，許多基礎條件的缺陷，現亦

可用灌漿法加以補救了。

一九三二發現單位水路測量法(Unit Hydrograph Method)，此法可測得河道的水流情形。其後此法經過多次的改進，現在已可用此法測知洪水的可能狀態，及其對於水工建築物所具的影響。

技術上的進步，除混凝土及水力學外，還遍及其他領域。

一九三五年，土壤力學頗有若干進步。此後土壤力學即在土地及實驗室內積極擴展。土壤材料可以試驗，決定其密度、防漏、沉陷、及施工方法，以期在工地獲得最佳結果。墾務局並利用自己的實驗和工廠裏的設備，去試驗沉陷與壩身透過等問題。結果，一座土壩可以十分精確設計，去利用壩址附近的材料。

閘門的設計也甚為重視。適用於低壩的簡單滑門(Simple Slide Gate)已漸不能滿足需要。各種型式的改進，如環動型(Ring Follower Type)之改進以及以滑門代替輥型(Roller Type)，使在一八五公尺的水頭壓力下僅用三・七公尺的口門。圓筒型(Cylinder Type)最早被用於高水頭。針閥(Needle Valve)也是最先採用於高水頭的。此種閥門的繼續改進，使其部份已成商業名稱了。空注閥(Hollow Jet Valve)就是其中晚近新產品之一。

輸水系統也受到相當的注意，其建築物由於水工實驗的發展和精確研究的設計，乃得到改進。渠道之水理特性也在積極地研究，根據包含冲刷和淤積等現象之智識經驗，因而產生了標準断面。近年墾務局也正致力於廉價渠道襯工的試驗和研究，以期防止滲漏的損失。混凝土襯面工，業經改進，鋼筋的用量，大量減少，大有回到約在一九一四年為墾務局採用過的單純混凝土襯面工之勢。在與煤油公司之合作下，發明了兩種新型的瀝青襯面工：其一是與普通混凝土頗相似的瀝青混凝土(Asphaltic Concrete)。另一是瀝青膜(Asphaltic Membrane)，後者又可分為二類——一法將瀝青噴射在基礎上，另法將瀝青塗在特種紙上，再轉而敷在基礎上，兩法均覆以砂土保護層。此外又發現了一種土氈襯面工(Earth Blanket Lining)，凡是在有合適材料的地方利用，則價廉物美。現並在籌劃一種用鹽類通電以固定土壤的實驗

計劃。此法如成功，則防漏工程可在水下施工矣。

水草向為一棘手問題，當灌溉季節，如用機械方法去除草，是既費錢而又不方便，倘加少許化學藥劑於水中則對除草是廉而有效。

在此期間，一切計劃都是由最簡單發展到最複雜。現在實際上美國每一項用聯邦經費建築的工程，性質上都是多目標的。這一目標是每一計劃要獲得所必需的經費。常有許多機構欲在其附近發展各種事業，他們在計劃核准前，都可提出意見。很多計劃都包括着灌溉，水力發電和防洪。他如娛樂，水土保持，及家用給水等也常為工程計劃的一部。現在美國，非多目標性的工程計劃，不能用聯邦政府的經費來建造一節，我以為這是很公平的。

以上是說明什麼是灌溉及如何配合其他的發展，接着我更進一步要談到中國農村復興委員會在臺灣的業務。

灌溉工程可分為五個階級：

- 一、查勘階段(Reconnaissance Stage)
- 二、規劃階段(Planning Stage)
- 三、設計階段(Designing Stage)
- 四、施工階段(Construction Stage)
- 五、管理與養護階段(Operation and Maintenance Stage)

查勘階段須研究在開發區域內一切可用的地圖，水文資料，以及從各方面搜集得來的資料，以決定此計劃的可能性。並須作小範圍的測量或搜集資料，以確定此計劃的自然特性與此一計劃有關的特別問題。各種不同的方案經過研討後，再決定何者是具有更進一步研究的價值。

在規劃階段內，將查勘搜集得來的資料，再加擴大測量去研究，並將各種計劃或其中的一些部份經過交互比較研究後，乃決定其最易施行的計劃。在從研究中產生之最佳計劃以後，乃取得更多的資料，以決定設計的條件。

設計階段乃利用各種有關的資料去作恰當的建築設計，這種設計有時要在建築物的位置和型式方面加以修正。

在施工階段，工程計劃已設計完成，乃依照圖樣施工。有時候這種工程須盡最大努力於一年內完成，有的工程計劃却須分期於幾年內建築。

最後階段就是管理與養護的工作，此雖為最後

階段，却並非不重要，其實，它的重要性是無法估計的。工程計劃之成敗與否，全繫諸此階段之工作是否成功。適當的管理，是對農田於適當的時間，輸以足量的水。就是說要利用一切的設備去達到最豐滿的利益。充分明瞭此一系統中的每一項功能認清這個系統中已有的弱點，去避免由此引起的失敗。適當的養護才能保證它可以有效的運用，這必須熟知其弱點而防患於未然，這就是說在非灌溉期內全力從事——修繕、改良、除泥、去草等養護工作，才不致影響灌溉。蓋過時的小修，常可免去日後鉅費的大修也。

因共匪的壓迫，農復會於數年前遷來臺灣。本會在本島初期的灌溉業務，為期早獲效益，只限於施工階段之工作，接着亦漸注意別方面的業務。於是援助擴展至設計階段，後來又進至規劃階段。現並協助各河流域之水庫勘測工作。同時感到管理與養護階段的重要，亦正在深切注意中。

灌溉工程可分為後列五類：

- ①蓄水壩 (Storage Dams)
- ②引水壩 (Diversion Dams)
- ③抽水站 (Pumping Plants)
- ④輸水系統 (Canal Systems)
- ⑤排水系統 (Drainage Systems)

蓄水壩以構成水庫 (Reservoirs)，當河川流量超過需要水量時，即將餘水貯於壩後。攔河築壩供水者謂之河上水庫 (On-Stream Reservoirs)，圍堵低窪之地築壩而不在河身者謂之河外水庫 (Off-Stream Reservoirs)。後者必須從主要水源用水路引水入蓄水庫。農復會在蓄水庫方面尚無甚多業務，我們剛剛幫助臺灣完成一個可謂是很小的水庫。現在我們正在經濟與技術方面協助建築新竹之青草湖水庫 (Green Grass Reservoir at Hsinchu)，該水庫容量較大，完成後可蓄水八四五、〇〇〇立方公尺。

引水壩建於河上，其唯一目的，是提高水位使能引水入輸水渠道以達灌溉區內。在臺灣此種引水壩甚多，有些是臨時性的。臨時性的建築物被洪水沖毀後，常須一次一次的修復。有時洪水的破壞且一再發生在灌溉季節中，所以農復會在這方面的業務，是將臨時引水壩改建為永久引水壩，現在接受農復會援助的引水壩，共有十九座。

抽水站是用以將水從河道或井中提升至某一高度，再藉重力作用使之流至灌溉區。農復會援助從水道汲水的抽水站計十七處，從淺井汲水的抽水站計三十處。現又正考慮從八口深井汲水的灌溉計劃。

輸水系統是從水源引水至待灌溉地區。輸水系統包括着各種不同的構造物，如，渡槽，隧道——開挖與覆蓋部份，虹吸管等，用以引水通過艱難複雜的地形。並包括調節設備，以便從幹渠取水分配至各個農田。現在農復會計劃下已完成或正在施工中的渠道與水路，共達二五四·八〇公里。

排水系統之建築，也是很重要的。排水系統係排除過多暴雨雨水與地下水以免農田被浸。臺糖公司發現適當的排水系統，能使蔗田增產百分之二十。

農復會對於灌溉工程的援助，分為技術援助與經濟援助二種。技術援助容於下文再講。經濟援助多採用貸款方式，已付出的唯一補助金祇新臺幣五三、四〇〇元，但過去四年中貸出的款數達新臺幣四三、〇〇〇、〇〇〇元，這些貸款的對象是各水利委員會，而由臺灣省政府水利局擔保償還。農復會與水利委員會訂約後，初期即可支付貸款的百分之二十，以後每當工程進度達到百分之二十時，即可依照分期付款方法，再付給水利委員會百分之二十。此項貸款普通定期三年，並取年利百分之六。償還亦分期行之，即工程計劃完成後之第一年底償還百分之二十，第二年底百分之三十，第三年底百分之五十。水利局並常對水利委員會補助其本息之一部份，普通西部之工程補助百分之五十，東部則為百分之七十。就償還的記錄來看，去年十二月到期的新臺幣三、六〇〇、〇〇〇元貸款，已有百分之九十按期償還，由於若干特殊情形，一小部份貸款未予償還，但在計劃完成時，諒不致再有滯還的現象。

臺灣省有四十個水利委員會，共擁有現在已經灌溉的五四〇、〇〇〇公頃土地中的四七四、一六六公頃。每一水利委員會之土地面積自八〇三公頃至一五三、九八〇公頃不等。水利委員會由委員會管理，其委員選自地主（百分之四二），佃農（百分之三四），及地方首長（百分之二四）。正副主任委員由委員互選之，為有給職，負責綜理會務，

職員人數從最小水利會之三名到最大水利會之一、〇六六名，屬於技術方面的職員約佔百分之六二，專科以上學校畢業的工程人員祇二三人，受過高中教育的也只一、〇〇〇人，所以水利會的技術能力十分有限，因此農復會之水利工程組（Irrigation & Engineering Division of J.C.R.R.）乃主張重要工程之設計與施工，宜由臺灣省水利局辦理。

臺灣省水利局設在臺北，任用技術人員一五五名，其中一半係畢業於大專學院，該局並有十二個工程處（譯者按——應為十四個）分佈全島，任用技術人員三八八名，三分之一為大專畢業者，農復會水利工程組與水利局經常取得連繫以商討各種計劃，並協助各工務所或水利委員會解決其困難問題。水利局且設置一個混凝土工程師（譯者按：指湯文顯先生）常常協助各工務所及各水利委員會解決有關混凝土問題，他常親往各工務所協助選擇良好混合骨材指導拌和方法，以期獲得良好之混凝土。自從該工程師執行其任務後，混凝土之強度已增加百分之五十。

農復會水利工程組核閱主辦機構送來之灌溉工程計劃，並提供意見，使其變更設計或估價。我們最重要的任務之一，是鼓勵灌溉工程計劃採用最新的設計，並自己彙集一批技術方面的圖書，包括美國墾務局的手冊在內，該手冊是我們所蒐集圖書裏面最好的一部，因書內載有各種灌溉建築物的設計程序和施工方法，現正在翻譯成為中文本，這對各水利委員會尤其是大部份不通英文的技術人員，很有用處。本組也試圖鼓勵各種卓越的規劃，完善的施工說明書及優良的製圖，實行以來在各方面均有顯著的進步。我們覺得這改進，對於發包的工作有很大的利益，完善的圖樣表示一切建築物的大小尺寸與必要的細節使能依式完成，正確而完善的施工說明書，載明材料和工作的品質，合適與不合適的施工程序及其他特殊條件，使承包商能確知業主對於他的期望為何，他可以不必抬高其標價，以防不測事件之發生。本組對於水利委員會不屬農復會經援助工程計劃也花了大量的時間去指導其設計。我們又在經費上支助一個查勘測量隊，它將使我們對於本島的灌溉增加新的資料，並對其前途有所裨益。我們又在臺南工學院援助一項模型試驗計劃，這是一具長達十公里的北港溪模型，這個模型試驗將可說明堤防的施工程序與堤防的間距，俾能防止洪水的泛濫。

下列各表說明在農復會計劃下的灌溉，工程概況經濟價值與工程費用。

表一：灌溉工程受益面積表
(單位：公頃)

年 份	完全供水 面 積	部份供水 面 積	改善工程 面 積	共 計
1950	1,794	11,516	55,358	68,668
1951	3,630	650	93,932	98,212
1952	6,589	2,911	24,721	34,221

表二：灌溉工程收益折合稻谷增產量表
(單位：公噸)

年 份	完全供水 面積收益	部份供水 面積收益	改善工程 面積收益	共 計
1950	1,680	600	10,582	12,862
1951	4,534	16,280	24,494	45,308
1952	7,960	18,130	30,194	56,284

表三：貸款及補助金總表
(單位：美金元)

年 份	貸 款 數	補助金額	貸 款 與 補助金總數
1950	152,596.00	5,390.68	157,986.68
1951	850,991.46	—	850,991.46
1952	1,042,338.25	1,330.00	1,043,668.25

現在讓我們來注意灌溉工程的將來發展吧。依據目前的資料，表示臺灣有一二〇、〇〇〇公頃的旱田可資灌溉，又有一〇〇、〇〇〇公頃的單期作田，如能充分供水時，可改為雙期作田。假如照目前人口繁殖的趨勢繼續下去，那祇須十二年增加的人口，即可消費由以上這些新墾面積所增產的米糧。因此我們可以拿十二去除那些數字，即能決定今後每年必須擴展的近似數字，即每年必需將一〇、〇〇〇公頃的旱田改為水田，並對八、〇〇〇公頃的單期作田增加供應水量，這樣的發展，約當我們現在計劃的三倍，所以我們的工作亟應加以擴充以期配合將來人口增加的需要。

同時工程計劃將日趨艱鉅，並要用新的方法去取得水之最經濟利用，綜合性的包含灌溉，水力發電，防洪及其他用途的多目標工程開發計劃乃屬必要了。我們不容滴水浪費。我們現在正考慮兩個多目標的工程計劃，其一為集集蓄水庫，位於濁水溪之洪泛區上游峽谷口附近，這水庫的容量至少有我們現有蓄水庫六倍，兼具發電防洪及灌溉等功用，工程費需美金一四〇、〇〇〇、〇〇〇元，確是一項鉅大之工程。另一個為石門水庫，位於淡水河上之大料嵌溪，該水庫壩高一五〇公尺，與集集水庫具有同樣功用，工程費約為集集水庫的三分之一，自此中任何一個水庫所獲得的利益，將對臺灣之經濟穩定大有裨益。

介 紹 噴 水 灌 溉

江 作 義

一、前 言

噴水灌溉並不新奇，惟以往均用以灌溉花園及若干小型農場，故不為世人所注目。迨一九三〇年起，歐美各國，已開始採用此法灌溉廣大菜園，及滿山遍野之牧草地區。費用雖大，收穫尤豐。於今一般工業發達國家，對噴水灌溉已有廣泛之應用，且其技術之改進，亦在日新月異中。

二、噴水灌溉之分類

噴水灌溉因其裝設之不同，可大別分為：固定型、活動型、及半活動型三種。又按其所使用之噴水器不同，分為孔管型及噴嘴型兩種。孔管型則於送水管上，穿鑽細孔賴滯浦之壓力，使管中之水，由孔口噴出，灌溉作物。至噴嘴型，則於送水管上，每隔若干距離，裝置一個或數個噴嘴，噴嘴有旋動者，有固定者，視灌溉地區及作物之種類而選擇使用。歐美各國，現多採用此兩系統，惟亦有利用豎管，將用水，引至空中噴射灌溉者。以上所述各種噴水灌溉系統，各有其優劣之點，本文不吝篇幅，特將上述因裝設不同之三種灌溉系統舉例介紹於後（裝用噴嘴），以作比較。

三、噴水灌溉之優點

噴水灌溉之長處，或即為地面灌溉之短處，故噴水灌溉非僅可收地面灌溉之效，且可彌補地面灌溉所不及之處。茲將其特別明顯之優點臚列於後：

1. 對土地之利用方面——噴水灌溉，可用於地勢陡峭，地面灌溉無法施行之處；若山嶺起伏，地勢變化甚大，地面灌溉法必發生嚴重之侵蝕作用，且用水浩大，不合經濟原則。若土壤層淺，且孔隙甚多，而用地面灌溉法時，則必增加滲漏損失，噴水灌溉法即可避免此弊。此外如採用地面灌溉法，而感整地費用太大時，亦可改用噴水灌溉，減少費用。

2. 對用水方面——灌溉用水之經濟問題，頗使一般學者懷疑，故噴灌用水，與溝灌用水孰為經濟

，猶未能得一確當之答案。茲僅就美國若干雜誌調查及實驗結果，載錄於後，藉供參考：（甲）根據 F.L. Overly (13) 長期實驗結果，噴水灌溉之省水程度，約達百分之二十五。（乙）根據 C.J. Wilcox (15) 之報告，噴水灌溉之省水情形，約可達百分之六十；此種報告若屬準確，則噴水灌溉之面積，可比地面灌溉法，增加一倍以上。（丙）另據 Wallawalla county (3) 報告稱：三百一十畝地區噴灌所用之水量，正與一百六十畝地區，使用淹灌法之水量相同。由上列報告之實際經驗證明，噴水灌溉法，比地面灌溉法較為省水。

3. 對土壤之沖蝕方面——陡峭地帶及粗惡地面之是否可資灌溉，其關鍵繫於土壤之沖蝕。若施行地面灌溉，將於農地之低端發生嚴重之沖蝕作用；蓋土壤之透水情形不良，可於農地低端發生大量之逕流，致釀成土壤之沖蝕，直接影響土中之合肥量與作物之生產量。事實上地面傾斜過甚，或地勢不太規則之處，根本不能採用地面灌溉法，既增水費，更失表土，在此百無一利之狀況下，吾人可知最切實用與最理想之設計法，則為噴水灌溉矣。高山地帶置設噴水灌溉系統，可由其噴水器調節其噴水量，以使土壤之沖蝕減少至安全範圍之內。惟吾人需特別注意者，人為之沖蝕（用水不慎而造成土壤之侵蝕等）固可減少，而因天然之降雨，鬧成嚴重之沖蝕，不可不慎重考慮；亦將影響噴水灌溉系統之整個設計。

4. 對土壤之效用方面——地面灌溉法因利用溝造送水，故分水不均。常因用水太多，使農地釀成泥濘或沼澤，減低土壤之效能。噴水灌溉可調節噴水器之噴水率，或增加壓力，使噴水器水花飛濺，勻細如雨，不至造成土壤之泥結。此外，噴水灌溉代替溝灌，因噴水如雨，均勻分洒，可使表層土壤與地下高水位間之鹽份，不至堆結，妨礙作物成長。

5. 勞力方面——於小規模之農場中，噴水灌溉可稱絕對節省勞力。若於大規模之農場中，因工作人員之工作時間無一定規律可循，故於一已知面積

之灌溉區域上，不能一語而定工作者所需之準確時間與勞力。惟根據記載，噴灌在陡坡上之行列作物，每秒一立方呎之水量（即等於每小時一噸吋）需一人管理。惟於平坦地區之灌溉工作，一人可管理每秒或十五立方呎之水量。而於地面灌溉系統中，則需較多之時間與勞力管理水流或進水溝及其他一切建築物。根據 Columbia Basin Project Estimated (9) 調查結果，利用地面灌溉法，每噸吋一小時需一、二至一、五二〇，以管理灌溉季節中之溝渠及維護送水溝等。綜上所述，噴水灌溉較地面灌溉法為省時省力；惟地表絕對有利於地面灌溉法，則噴水灌溉所費勞力較多。

四、噴水灌溉設計之先決條件

1. 土壤之吸水率——低壓力之孔管設計系統中，每小時之最少出水量為一時，若土壤之吸水率不能達到此標準時，則不可使用孔管制之噴水灌溉系統。吾人於噴水灌溉設計時，若土壤之精確吸水率無法得知時，可採用下表所列：

一般土壤之吸水率（表一）

土壤種類	滲透量（吸水率）每小時吋
砂	2
砂 沃 土	1
沃 土	0.5
淤土或黏土	0.2

上表係土壤之最大吸水率，若有數個噴水器集中噴射時，其出水量之和，當超出土壤之吸水率，須加注意。

2. 支管長度——活動支管之長度，由灌溉地面大小、形狀、及可資利用用水量多寡與管徑之大小而定。若用孔管則不宜超出四分之一哩長，若為活動噴水器之支管時，則不宜超出半英里長，為便利運用，此等長度之支管，最多只用七吋或八吋之管徑。

3. 可資利用之水量——若灌溉水源係利用井水、泉水、或河水時，其可資利用用水量，將可左右整個灌溉設計；惟於大規模之灌溉事業中，則未必盡然。有時抽水機及可資利用之動力係決定灌溉水量之最大因素。若干鄉村電線多係單相制，不利大於五馬力電動機之用量，故吾人設計灌溉全部用水

量時，需顧慮週到，方不至發生意外。

4. 灌溉用水深度——灌溉用水之深度，需視農作物之種類及土壤之含水量情形而定。此外氣候，用水頻率等，亦不無影響。每次灌溉用水深度，多依土壤之含水量情形而定，若超過定額時，即屬浪費。蓋過剩之水量，可由作物之根區下部滲漏損失故也。普通一次灌溉用水之深度係根據下式計算而得之：

$$\text{用水深度} = \text{土壤吸附水} - \text{未灌溉前土壤之含水量} + \text{不可避免之損失水量}$$

各種土壤之灌溉用水深度不同，吾人設計時，可借助下表以達成目的：

一次灌溉用水之深度（表二）

作物根區之深度（呎）	砂 土 與 砂 壤 土（吋）	砂 壤 土（吋）	淤 土 及 黏 土（吋）
<2	1—2	2—3	3—4
2—3	2—3	3—4	4—6
3—4	3—4	4—6	6—8

估計灌溉之一切設備、灌溉季節之作物全部用水量、抽力機之動力數及勞力等，可根據次表推算之：

作物用水深度與所需灌溉日期之關係（表三）

作物種類	水 深		
	1 吋	3 吋	6 吋
需水量多作物	3—6日	9—18日	18—36日
需水量中等作物	4—8日	12—24日	24—48日
需水量少作物	6—12日	18—36日	36—72日

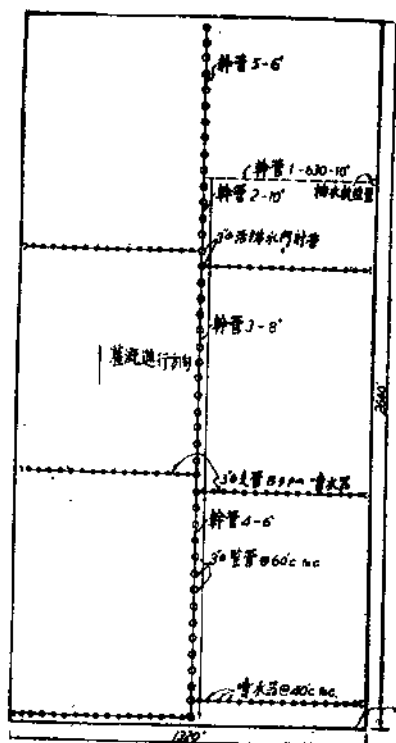
五、噴水灌溉之設計

為使讀者明瞭噴水灌溉設計之方法與步驟，特舉例說明之。

1. 半活動型（旋動噴水器）——在此種型式中，幹線於灌溉季節中固定不動，且可埋入地下（通常埋在地下之裝設費較廉），為配合支管之裝接，可用活瓣為出水口，其在幹管上每隔六十呎安裝一個。支管常用輕質鋁製之小管，長四十呎或二十呎。噴嘴經豎管接入支管上之連接器處，其間隔為四十呎。

現設有八十畝之農地一塊，一三二〇呎寬，二

六四〇呎長（如圖一），該地區之土質設為砂土與砂壤土，而以砂壤土較多，氣候乾燥，由前表二知此種土壤如欲使作物生長，至少需二至三吋深之有效水量。茲假定某種作物一次灌溉所需之有效水量為二點七吋，灌溉日期為九日，每日蒸發量為〇・三吋，則二項之和為三吋。此外因其他原因對灌溉用水之損失，吾人常估計為前數之百分二十，即〇・六吋，故得九日中之全部用水量為三・六吋。



(圖一)

九日中八十畝地面需要灌溉之最高水量為二八八噸，合每日三十二噸。折每小時一三三噸。此數約等於每分鐘六〇〇加侖或每噸每分鐘需七・五加侖之水量。本例灌溉系統，噴水器一日中只令動作二十二小時，餘剩二小時作為裝卸及移動支管之需。又本例作物用水操作一次灌溉完畢，且每單位每次灌溉時間擬為十一小時，每二十四小時中，支管作二次之裝卸，全區二六四〇呎長，每隔六十呎移接一次，幹線兩旁總共移接八十八處。若每日中只有六條支管以供使用時，則八十畝地區中，如有七又三分之一日施行灌溉工作已够。（若用五條支管，則需八又五分之四日，惟其工作時間匆促

，不够充裕），故於九日中抽出一日至二日之時間治理他事，所餘七日至八日時間專作灌溉之用，已感之足。

根據上面決定，每次灌溉用水深度為三・六吋，故每小時用水深度為〇・三二七（ $3.6 \div 11 = 0.327$ ）。茲再根據下式，求出每個噴水器應有之出水率。

$$G.P.M. = \frac{P \times A}{96.3}$$

上式 G.P.M. 為噴水器每分鐘之出水量（加侖）。

P. 為每小時用水之深度（吋）

A. 為每個噴水器所負擔噴射灌溉之面積（平方呎）

今 P 為〇・三二七吋，

A 為二四〇〇平方呎（ $40 \times 60 = 2,400$ 平方呎）

代入上式中得：

$$G.P.M. = \frac{0.327 \times 2400}{96.3} = 8.2 \text{ g.p.m.}$$

本例土壤每小時灌水只達〇・三二七吋，對其透水性不生問題（砂壤土每小時滲透率為一吋）。現每條支管安裝十六個噴水器，每個每分鐘之出水量定為八加侖；另加小噴水器一個，令其每分鐘出水量為四加侖。故一條支管每分鐘全部出水量為一三二加侖。灌溉面積為二六・四〇〇平方呎。

若作物之生長季節為一四五日，根據前面所述，其一次灌溉日數為九日，則其全部生長期間有十次之灌溉，已够作物之需要，故每次灌溉七又三分之一日，每日工作二十四小時，則灌溉一次計需一七六小時，十次需一七六〇小時。

上列問題解決之後，進而決定送水管徑之大小，惟對此未着手之前，宜先考慮下列二個問題：

1. 在一管線首尾兩端壓力差不能太大（避免水壓力差異而影響分水不均）。
2. 克服小管管流所增加摩擦力之動力費，不可大於小管所獲得之節省費（同一流量，大管雖價值高，然摩擦力小）。

本例設計，幹管與支管各長均逾數百呎，故第一個問題，極難避免；因近抽水機一端之水壓力一定比遠抽水機一端之水壓力為大，吾人可於幹管上，對支管之間距，及旋動噴水器之轉動週期加以調節，惟此種補救辦法，少人採用。普通最簡易辦法，乃於幹管上使用調節器，對灌溉用水之頻率加以