

譯 著

電子計算機在灌溉排水系統問題上之應用

國際灌溉排水會議宣讀論文

1962 于墨西哥市

FRANCIS SWAIN 著

嘉南水利會工程師

農復會技正

柯海生 譯

秦立德 校正

譯者前言

臺灣的學術、軍事、企業、政府機構各界對電子計算機的應用日益普遍，是有目共睹的事實；而在灌溉排水系統上的應用，雖尚未有大規模的發展計劃，但是對這方面相當關懷的水利界人士仍為數不少；廣泛應用電子計算機是全球性的自然趨勢，灌溉排水事業也無法例外；為縮短與先進國家在技術上的差距，水利界人士當提早擬定應用電子計算機的長期計劃，以迎合時代的潮流和適應實際的需要。本篇著者 Francis E. Swain 為美國內政部墾務局駐 Colorado 州，Denver 市總工程師辦公處之資料處理組主任，以其親自主持的業務心得，將全美國灌溉排水系統如何應用電子計算機的情形，在本篇詳盡報導出來；美國是全世界應用電子計算機最進步的國家，故其目前應用情形，很值得我國在開始擬定類似發展計劃時加以參考。本篇原文是農復會秦立德工程師年初赴墨西哥城參加國際灌溉排水會議所攜帶回來的論文，經傳譯者，譯者深覺得本篇對當前的水利界確具有參閱的價值，特不自量力，以儘量保持原著者語氣的方式翻譯出來，不逮之處必多，請水利先輩不吝指教，但願本譯文能給大家一點啓示，也算是譯者投身農田水利事業十年來，對臺灣灌溉排水應用電子計算機的發展，盡了一份極微薄的力量。

摘 要

電子計算機這項工具目前正廣泛地被利用於解決灌溉系統或與其有關的各種大小問題。從純技術觀點而言，以這種機器來解決問題的主要優點有：可以獲得超越手工計算經濟極限的資料，因為有些問題，其主要的本假設和控制規範，可以藉相關的一些簡單變數在計算機的程式裏或輸入 (Input) 的數據和參數上檢定驗算出來，另外的一個重要因素是：灌溉排水系統有關的許多水源計劃，其所要求研討的事物過份龐大及繁雜，而且包含有多種變數時，數字電子計

算機 (Electronic digital computer) 是解決這些問題的唯一工具，因為水文、氣象、灌溉和經濟上所需加以分析的數據，即非類比計算機 (Analog computer)，也不是手工計算程序所能有效地獲得所需求的結果。

過去水文、灌溉和排水系統的研究，主要都以獨立分析方式進行，而目前許多這類研究的重要問題，日益顯示以這種方式已無法妥當地解決所欲研究的問題。就以擬態 (Simulation) 地下水系統和水質分析及控制為例，其在數字計算機 (Digital computer) 的應用上，兩者已形成極為密切的關聯。為適當應用最現代化的技術和工具來分析水資源問題，美國墾務局目前正嘗試在一項計劃的規劃和營運的研究上，進行綜合分析地面水，地下水和水质控制三方面相關聯的問題；而這種綜合分析工作唯有透過高速電子計算機的應用才能奏效。將來這種聯合研究工作，勢必更能廣泛地應用這種設施。

應用電子計算機解決灌溉排水問題的可行性固需寄以熱切的關懷，惟利用這種機器亦極需審慎。以電子計算機從事之水資源研究發展工作，首應考慮其正確之程度及其分析階段所需之精密度。當前電子計算機的裝置和數字和分析的技巧，就資料處理而言，已可以獲得相當高的精確度，故無任何分析工作需要計劃到超過比輸入資料更高的精確度；如果忽略這種提前注意事項，則極容易招致錯誤的安全感。人們如不諳數字計算機的技巧或某些特殊程式 (Program) 的內容，又無可資校對的資料，常招致盲目信賴輸出 (Out put) 系統印列出來的結果所顯示的精確度。應用電子計算機務須切記，任何輸出結果的精度均無法超過該結果所依據的輸入資料的精度。以方言來描述電子計算機這種特性的一句話是：「什物進，什物出」，同一原理，在大系統模擬研究分析中，局部精度不應超過同一分析中其他部份之精度要求。

利用電子計算機裝置最顯著的理由是：達成減少

數字計算所需要的時間和費用；提供更充分的資料，以便作更卓越的判斷；使工程師或科學家們得免於從事勞累的手工計算，而更能從事其較重要的專業工作。勿論電子計算機能有多大的優點和益處，終無法取代專業性的經驗和判斷，這是從事於這種工作者所應有的認識。電子計算機發展到目前為止，它仍然僅僅是一個具有高度容量，能力和速率的工具而已。正如某文獻所稱(8)：將來電子計算機是否能從事於思想、推斷、歸納或發明，仍屬一尙待商榷的問題。爭辯此一問題的人們，至今仍無法提出可以相互接受的有力論據，觀乎當前電子計算機這種藝術發展的現況，其卓越成就當與日俱增，任何詞義上的爭論均無法改變這一事實。

對於從事灌溉排水問題分析與處理的人們而言，電子計算機已被視作一種極有價值的工具，正如其他科學及工程方面所作的努力一樣，電子計算機在灌溉排水方面，已經達成了應用其他方法無法獲得之研究成果。應用電子計算機不僅可以得到滿意結果，並可迅速而經濟地求得高度精確之最佳答案，這種計算機也能解決許多因過份煩雜或冗長而無法以人工方法解決之問題。

灌溉、排水、河道整治、防洪及類似學科，在科學及技術方面的發展和應用上所遭遇的許多問題，目前已有許多實例，證明能够非常理想地利用電子計算機，從事計算及研究。這些問題往往需要解決多種複雜的數學關係，解決大量數據資料，進行重複之基本計算，衡量錯綜的假設和規範。

電子計算機本身並無法對於應用這種設備，處理灌溉及排水問題，一定可以獲得正確結果這件事，予以任何保證，欲使高速計算處理介入任何型式之研究工作，一方面須認識設備之能力及限度，另一方面要充分瞭解問題之內容。

以電子計算機從事灌溉及排水問題之研究，如其他問題，務須於嘗試之先，完整並正確地瞭解問題之關鍵，甚至有些問題，雖經充分確定其意義，在電子計算機上按排欲求答案之處理程式，仍然可能遭遇一些困難。故未經確定問題之意義，斷難按排並解決任何答案。人們經常提到，很多優越的電子計算程式(program)並無實際存在的問題對象，其關鍵在於問題的定義未予事先確定也。因為個別問題很難完全適用這些程式，充分融會解答問題和利用計算機兩方面之智識，是加速並有效地應用電子計算機，處理灌溉及排水問題之先決條件。對於自動計算而言，卓越

之判斷可能迅速並經濟地獲得最佳之成果，不適當的判斷，則會招致因昂貴而感困擾之後果。

由人工改做機械計算或改用電子計算機來處理新穎問題的演進，應充分利用儲存式電子計算機(stored-program computer)所賦與的能力。如果灌溉及排水問題採用手搖式案頭計算器(desk-type calculator)處理，常須準備一些表格，做為計算之規準，並便於個別數字之統計及列表說明。計算的次序和採用的步驟，均以使計算過程儘可能達到最高效率的境界為目的。

以電子計算機解決灌溉及排水問題時，所採用之步驟與以人工計算者，顯然不同。因為前者可以儘量利用電子計算機之容量優點來：(1)選擇適當的計算步驟，利用‘分歧’(“branching”)操作處理問題之特殊部份，按照預先選定之計劃並參照問題之特殊條件，修改計算指令(instructions)，(2)利用‘圈迴’(“looping”)操作及次級慣算(subroutines)之特性，重複進行同一型式，在不同數據及規準下之演算。數的分析之新穎步驟在不斷地發展，使人工難以處理之技巧，再被採用。高效率之編輯機(compiler)操作系統、問題語法(problem-oriented language)及其他各種軟質零件之發明及應用，業已大量減少人與機器間互相傳達之各種問題，而使電子計算機更成為灌溉排水專家所樂用之工具。

可利用電子計算機處理之灌溉及排水問題，業被公認多不可計；其處理所及之範圍，從一般觀測至特殊問題兩大分野之詳細分析，幾無所不及。欲求瞭解電子計算機如何能應用於灌溉及排水系統問題，最好藉研討會方式，除包括前述兩大分野之實際應用外，並應涉及與其密切關聯之系統訓練。

在水文、防洪、泥沙、水工原理、水工結構、透水層(porous medium)水流，及土地分類方面時常引起的問題，均直接關係灌溉排水系統之規劃、設計和運營。這些問題一般可分作下列各類：需水量、水資源、水文、泥沙沉積、水源利用、輸水系統、地下水及土壤水份，和土地分類及利用等。在這幾類問題中，已能有效地利用電子計算機處理，並為灌溉排水專家們特感興趣者，大致如下：

需水量

分析灌溉配水資料，以求得需水量與氣候、地文(physiography)，及其他適當因素相互間之關係。

分析屬於家庭、市鎮、和工業方面之需水量資料，以獲得各種用水量與其地理位置、氣候和人口等因素間之關係。

計算田間或各別農場作物之栽培季節、月別或日別耗水量，並予歸納及整理田間試驗測得之耗用水量資料。

水資源

利用複相關 (multiple correlation) 技巧，分析氣象和地文資料，以預測集水區內季節性的逕流量變化。

應用統計步驟，引伸河川流量，降水量或其他類似資料，並補充上述資料之遺缺部份。

評估觀測水文資料的變動，與相關氣候和地文方面變動之關係，資料存放及觀測儀器方面之變動，以及由於人為開發關係而引起之流量及水源的減少現象。

修訂歷史性的水文觀測資料，使符合目前水文系統發展之一般水準。

土地利用和集水區處理有關河川流量、降雨量及其他水文資料方面之分析，以確定河川流量的變化是否歸咎於土地開發處理。

在水資源系統之規劃、設計，及運營方面，試用最佳答案之技巧 (Optimization techniques) 加以分析。

水文

進行水資源開發中，關聯水文系統之運營研究 (Co-ordinated hydrologic system operation studies)，其中包括水資源、需水量，及水源輸送及蓄存。

利用氣象、水文，及地文學 (physiography) 方面的資料，預測集水區及河川流域的洪水逕流。

進行流經河道、湖泊、水庫或其不同組合情形下，洪水之過程演算。

對於某些特定河流或地理區域，從水文、氣象及地文上觀測資料方面，估計其洪水的大小和頻率。

淤砂

決定某一河流的總輸砂量 (Total sediment load)。

從氣象、水文、地文和沖積物各項資料間的相互關係，推算出泥沙沉積率 (Sediment-yield rates)。

從河川流量和沖積物取樣資料，推算流量延時和沉砂率定曲線 (Sediment-rating curves)。

水原利用

進行包括水資源、需水量和輸水系統多種組合情形下，多目標水資源開發之關聯系統運營研究 (Co-ordinated system operation studies)。

輸水系統

計算幹渠和支渠的土方數量，土量搬運計算圖 (Mass diagram values) 和邊坡樁位置。

從事幹渠及支渠土料填方之安定分析。

計算開渠的迴水曲線。

利用流速儀測定資料，計算幹渠和支渠的流量。

決定一般渠道之水力參數 (hydraulic parameters)。

計算文德利 (Venturi) 水槽的臨界水深。

設計相互聯通之管路配水系統。

算定相互聯通管路配水系統之管湧水壓力。

決定管路配水系統之土方數量。

計算圓型水管滿寧氏粗率 "n" 值。

地下水及土壤水份

以鬆弛法 (Relaxation methods) 估計地下水流量。

決定灌溉需水量，以便於保持土壤適當的含水量。

在不同地下水灌注規範下，計算地下水之相應化學成份含量。

決定灌溉地區之暗管排水所需之深度與管距。

利用渠道滯水試驗 (Ponding Test) 所得資料，估計幹渠及支渠的滲漏損失水量。

精縮自水井湧泉及河流所得的水位資料，以便於求得地下水等位線數值，並以電子描繪器 (Electronic plotter) 繪製所得的成果。

應用簡易數學關係，計算沿幹渠及支渠之橫交排水路流量。

土地分類及利用

應用電子計數器 (Electronic digitizer) 由地圖上量得的資料，來統計土地分類的面積。

進行詳細的土地分類調查，探討是否可採用噴灑灌溉系統，來決定一項計劃之可行性。

以上所列，正在利用電子計算機尋求解決各項問題的摘要，顯示這種設備已廣泛地被從事灌溉及排水系統規劃、設計、運營和管理從業者，認為係屬一種極為符合需要並深具價值的工具。下面再以實例，說明電子計算機如何卓越地解決某些問題，其時間和費用上之經濟，所獲成果之精湛及答案範圍之廣濶，其他方法幾乎無法達成。有些問題證實如非利用電子計算機，別無其他解決之途，蓋其受容許或可利用時間、需處理資料數量、和問題之複雜性等因素的限制故也。

需 水 量

增加灌溉、家庭、市鎮和工業用水的要求，與時俱增，為充分利用有限的可用水源，首需時常使這些水源能隨時隨地發揮其最佳和最有效的利用價值。水源一經流入水文或水力系統，正如同商用客機的旅客座位一樣，一旦客機飛離機場，空座位就代表一種資源的損失，這架客機不能飛回原地補售這些空座。同樣情形，水源一經流過水文或水力系統上的某一點，一般而言，就無法再予利用，抽蓄系統（Pumped storage system）可視為例外，因為通常情形，大部份水源系統的水流，僅有一次利用的機會，故水源利用，務須竭盡所能，以滿足上述各項水源利用的需要。電子計算機藉其高速、精確、大容量和邏輯（logic）之特性，已使這些理想目標成為事實。

有些因素，例如地理位置、氣候特性、人口變化等，對於核定農業、家庭、市鎮和工業方面的需水量，極具重要性。應用統計處理的方式，可以分析過去的資料，而求得上述各種影響因素與用水量之相互關係；這些資料的重要性，不僅限於灌溉及排水系統的規劃設計，對這類系統的運營管理也同樣具有舉足輕重的重要性，就以由電子計算機所獲得有關用水及氣象狀況方面資料之應用為例，它確能導致相當龐大的水量節約而免於浪費。利用電子計算機，可以在相當短暫的時間以內獲得這些資料，因而允許管理人員能夠及時對於灌溉或水文系統，作適度的調節與控制。

水 資 源

季節性河川流量的預測，通常需要多次處理大量資料，故最宜利用電子計算機。溶雪季節的逕流，乃水文及灌溉系統之規劃及運營上所應考慮之主要項目，它常受資料來源所據各種因素的影響，其中主要的因素為：溶雪逕流季節前積雪之含水量，被視作集水

區指標之先期降雨量，及逕流初期的降雨量。上述各項因素均含有無數測驗數值，須予考慮並加研究，以期求得一預測逕流之公式。

誠如福特（Ford）⁽⁴⁾所述：「預測季節性流量此類問題，乃為歸納過去一切顯示於天然逕流及促成逕流各因素之記錄中，各重要水文事件（Hydrologic events）之相互關係，而求得一複迴歸方程式（Multiple regression equation），並確定該方程式用於預測之可靠程度」，可能率預測之徹底研究，需要完成大量的計算工作——其量之多，非人工案頭計算器（desk calculator）所能承擔，

過去數年，墾務局業已應用複相關分析法（multiple-correlation analysis），以美國西部各河川流域為對象，完成了很多逕流預測方程式。早期的預測工作均藉人工計算方法進行。故其研究範圍及分析數量均大受限制。近期的研究，則廣泛地應用了電子計算設備。一組此類分析工作，乃為科羅拉多（Colorado）州北都和懷約明（Wyoming）州東南都一系列多目標水庫運營管理所作之預測程序，為時長達三年並包括 500 個以上之試算方程式，該研究業經 Koelzer 和 Ford⁽⁵⁾ 兩氏撰文詳述。應用機械從事分析以來，預測工作之改善已在不斷地進展。其後更由於電子計算機的應用，才能利用最新的資料，以迅速、經濟、有效的方式，獲得最佳的成果，這種成果絕非手工計算方式所能達成者。

在進行某些水文和灌溉計劃之可行性研究時，如果缺乏足夠的基本資料，則需延伸河川流量，降雨量和其他有關記錄，並填補缺測期間各項記錄。例如奧克拉荷馬（Oklahoma）州兩條河流上兩個擬議中之計劃，由於既有記錄之延續期間過短，需要延伸其流量記錄，以便估計水源供水及所需蓄水量。為期獲得該計劃研究上所需之基本資料，應就具有類似流域特性之鄰近區域，求得其降雨——逕流關係曲線，這些關係曲線，均係由電子計算機分析出來的，亦即藉當月流量與同月降雨量和前月的土壤含水量間之複迴歸關係（Multiple-regression relationship）探索出來者。

該項分析總計包括 282 個試算相關式，再由其中選出更適用更可靠之估計方程式來。這項研究中，對於 282 個方程式之複相關計算工作，係由一座電子計算機耗費將近美金 600 元所完成者；另外用於計劃準備和領導研究所需人工費用約需 2,500 元美金，這一項分析工作與人工解答所需費用之直接比較，尚付厥如，唯據以往經驗顯示：以同樣精確性為準，人工計

算解答，必屬更為昂貴。另外，如欲以人工方式進行研究，是否有充足人力可資利用，也是值得商榷的問題，事實上如果尚無這種計算設備，研究工作的詳細程度和結果的精確度將大為降低。

土地利用和集水區處理影響河川流量的廣泛研究工作，正由若干美國政府機構聯合進行之中，該項研究成果之一，為已得到一種以逕流相關因子表達逕流量的可靠方式。正如前所述，很多因素影響集水區的逕流，而複相關 (multiple correlation) 的技巧，提供了得到這種表達方式或估計公式的方法。降雨和逕流記錄之分析已遍及甚多區域，其範圍自小型實驗區，擴及遼闊之流域集水區，探測性的分析工作，亦已擴及以降雨，水分指數，和其他以年間、季節，逐月降雨及個別暴雨為準之變化組合，其目的為求得在土地利用及流域處理漸變之情況下，降雨與逕流相互之關係。電子計算機已可從事於其他方法不可能進行之變數組合檢驗工作。因為金錢和時間方面之過份開支，這些研究資料之人工處理，遠為極不切合實際之工作。

目前的研究⁽¹²⁾已逐漸重視追求最佳效果之技巧 (Optimization techniques) 在水源系統之規劃，設計和運營方面之運用。這方面的問題正以擬態，追求最佳，及營運研究等各種系統分析技巧 (System analysis techniques)，逐步覓求解答。這種研究方式多年來雖早為人所知悉，但其應用上的顯著進步，卻是由於近年來高速電子計算設備的應用所致，聯合運用上述各種分析技巧及電子計算機之應用技術，已能從事極端複雜多目標水源及水文系統之分析，並合併發展最近在水文系統模型研究方面的各種努力，這些新型處理程序和設備，目前已能將下列各項資料，輸置於計算機內，合併進行水資源系統的研究；這些項目計有：單元或多元水庫在單一和多支河道上所形成之簡易或複雜的多目標水資源系統；線型，非線型和動態之計劃程式之分解研究和多基準最佳效用之探索；地面水、地下水和兩者併用系統之擬態 (Simulation) 分析，水質控制系統之研究；以及經濟方面細節性的研議。總而言之，如果無現代化電子計算設備之應用，上述各種新型分析技巧恐永無發展之機會。

水 文

多列系多目標水庫及發電廠之相互關聯操作研究，促成極端錯綜複雜並消磨時間之水文問題。這些問

題是從事水資源開發及利用之人們所迫待解決者，進行這些研究工作，可提供下列各種資料；決定水庫、電廠、出水口和輸水系統之容量；有效調節河川流量，以滿足灌溉系統、市鎮給水、優先水權、水力電廠、及其他用水標的，所需之可靠水量；洪水防患；以及經濟分析等。典型的研究工作可能包括：某流域內任一特定地點，歷史性已趨竭枯，或業經調節之流量記錄的應用分析。這些水流常需經由一系列水庫和電廠之調節，才由輸水系統送達灌溉區域或城市等用水地點。由於蒸發、滲漏、作物耗用所引起之水量減少；和用水區流入，迴歸水流及河岸蓄涵所導致之水量增加，兩者均可在系統營運之擬態研究中，予以適當之考慮。這類研究工作，通常囊括五十年或更多年限的全部記錄，如果水庫蓄水擬予全部利用，則更應特別重視最早和最大洪水期間。

現代化電子計算機是處理一系列水文系統操作研究之迅速而有效之工具。僅計劃及處理單一之複雜系統研究，或許相當昂貴，某些情況下，應計劃同時處理若干研究工作，才能顯示出以電子處理較人工處理來得省時省錢。另外在其他情形下：因欲研究問題之複雜及時間因素之限制，電子計算機之應用乃唯一解決之途。這種研究工作，時常可以發展到以若干數學表達方式，藉配合電子計算處理程式所需之適切試驗，以供選擇其正當之相互關係，而適用於已知之問題條件，處理程式應保持相當之伸縮性，俾可藉僅選擇某些獨立變數或關鍵準則，即可求得一切欲求答案。嚴密週詳的規劃，擬定處理程式，編碼 (coding) 和研究項目之測驗工作，難免被視為過份苛求及昂貴，唯如以電子計算機來從事一聯串的重複研究，則很容易看出其在時間、人力和金錢方面之顯著節約。

回顧過去，美國墾務局於公元一九五三年首次利用電子計算機從事水文系統研究工作；該次當為最早利用這種設備進行水文研究各項工作之一，初次應用當時，所使用的電子計算機尚不能稱作一種蓄存處理資料的機器，但是經過實際應用以後，人們立刻領悟到，它具有意想不到的優點。早期應用所得之結論，證以今日這種計算工具在世界中，各類型水文研究之廣泛應用，它的獨特優點可謂無誤矣。

淤 砂

以愛因斯坦修正公式處理程序⁽¹³⁾ (Modified Einstein Procedure) 來估計河川總輸砂量之發展，和為應用該公式而擬定之逐步試算法 (Step met-

hod)⁽¹¹⁾ 的刊行，已促使河川總輸砂量的推斷工作，可利用在現場特別搜集之水力及淤砂等資料計算之。因為愛因斯坦修正公式之處理程序，需要冗長而煩雜之計算，故電子計算機成為處理這種工作最理想的工具。

墾務局曾經向美國陸軍工程師團駐尼布拉斯加(Nebraska)州歐馬哈(Omaha)城支部人員，請教過用於計算密蘇里河(Missouri River)輸砂量之電子計算處理程式，其後墾務局遂與工程師團密切合作，為愛因斯坦修正公式，發展出一個電子計算處理程式來⁽¹⁰⁾。

該處理程式原為計算科羅拉多河(Colorado River)下游段之總淤砂量而做者，但是却屬一般性之處理程式，可用於計算任一河流之總輸砂量。輸入資料及輸出結果在尺度方面之可能範圍及在從事基本演算之過程中預見之變化，在準備電子計算機處理程式之前，均經研究，俾便於應用任一河流之基本資料均可計算其總輸砂量。由於這種處理程式之應用，業已證實其具有相當程度之節省人力、金錢和時間等之可及效益，此外這種處理程式亦能略具彈性用於進一步修正愛因斯坦修正公式之工作。該處理程式中，各部份均易於變更，以便於研究修正工作及研討其對於計算總輸砂量的影響。

有一套已發展出來的電子計算機處理程式，能以驚人速率處理資料，供用於以流量延時含砂量率定曲線法，計算其輸出砂量，最初於實際發展這種方法當時，發現含砂隨季節而變化，需在分析程序上略加修正。電子計算機對這種修正，適時顯示出其特殊優點。

藉電子計算機來完成某項研究工作，如需花費美金 1,500 元，則改以人工計算方式，其所需費用很容易超過美金 5,000 元。該項研究工作，較諸以電子計算機演算異常複雜而細微之灌溉排水問題之工作，尚稱簡單。該項工作雖涉及分析將近十年間觀測站記錄(24,516個日流量和13,772個日懸浮質含砂量記錄)，因應用電子計算機關係仍可在較短時間內，以中等程度之費用演算完成。此類研究之顯著益處為其整套逕流及含砂量資料，可供其他研究工作應用其全部或部份資料。如果新添記錄逐漸增多，僅需甚少費用，即可將研究結果，及時修訂。藉用電子計算機，又可以甚少費用及精力，利用不同時期或季節斷水之資料，進行各種不同之研究工作。各種不同變數之研究工作，若用人工計算，將耗費最初進行全套研究所需

同樣多的金錢和時間。

輸水系統

除去最基本之水文及灌溉系統，一切輸水系統之規劃與設計，均需進行大量之計算工作。可能由於引用電子計算機而獲致甚大利益的一種問題，是決定幹渠和支渠之土方數量及其他工程數量。這些數量的計算，是從事水資源計劃之調查、規劃、設計和施工時，常遇到的最煩雜，最俱重複性工作之一。應用電子計算機以前，所有這些計算工作，均須以人工方法，描繪所需之大量縱橫斷面圖表。隨着電子計算機和電子描繪設備的誕生，及以光學傳真方法(photogrammetric methods)搜集野外測量資料的應用，幹渠及支渠之土方數量計算，目前已趨向高度自動化和效率化。

墾務局業已發展出包羅萬象並符合一般渠道土方計算用途之電子計算機處理程式(9)，該程式每年都用來計算很多英里長度之幹渠及支渠土方數量。該渠道處理程式，可以適用於具有三段戽道(berms)之最大挖方斷面和具有三種不同邊坡之最大填方斷面。該渠道處理程式可以計算土質內面工(Earth lining)和其回填土方之體積，也可以計算堤心壓實土堤之體積。其支渠處理程式，則預作土堤斷面單一背坡可予放平之準備，俾能機動調節，使算定之滲透線包涵於土堤斷面以內。幹渠與支渠兩種處理程式，均可變化正常渠水斷面(Normal prism section)，以符合某一特定之渠堤標高；可提高單邊或雙邊之渠堤，以留置超額之出水高(Free board)，亦可視需要省略單邊或雙邊渠堤等。各種尺寸和坡度之可變性，使幹渠及支渠通水斷面(prism section)能隨時調整，以符合不同之現場條件。該處理程式容許幹渠及支渠中心線兩側，具有不同之渠底寬度。堤頂和戽道間隔高度及其縱橫方向之排水坡度。

該處理程式可用來決定：指定測站之各種斷面面積(end areas)，測站間各類土方數量之累計值，土方累計圖之座標值，每一施測斷面之邊樁位置等資料。藉即經印出之計算機輸出結果，幹渠或支渠之施工邊樁設置工作，又可迅速地並高效率地完成，而勿需經過人工計算必需的冗長而詳細之野外測定工作。土方累計圖(Mass diagram)可用電子描繪器直接按照電子計算機輸出資料描繪出來。現場測量之基本資料，可以應用複製測量野帳方式或光學傳真測量步驟，直接輸入電子計算機內，月計估驗包商之土方工

作數量，可以迅速而正確地計算出來，俾據以決定對包商之付款額。如果沒有電子計算機可資利用，幹渠及支渠之土方計算，仍需以過去沿用之麻煩而費時之人工方法進行。

欲瞭解電子計算機如何節省時間和人力，可以比較人工和機器兩種方法計算渠道土方數量所需之時間，墾務局之經驗顯示：平均每哩渠道橫斷面資料之繪製和土方數量計算約需 2 人一日；如果決定適水斷面和斷面標高之資料業經備妥，一架新式高速計算機，完成一哩長度渠道之土方數量、斷面邊樁資料、土方累計圖座標值之計算，僅需時 4 秒鐘左右，另外每一哩長度渠道輸入資料之打孔工作尚需時 1.2 小時。唯打孔員工作勿需由技術人員擔任，類似一般雇員之打孔員即可勝任愉快。

很多不同型式之水文和灌溉系統研究工作，常需決定人工渠道或天然河槽之水流縱坡，沿着一條河道各不同斷面，需要決定其水面標高的典型問題有：(1)溢洪道尾水深度之計算，以便根據水工原理設計溢洪道之消能設備；(2)決定人工渠道的大小及容量，以便輸送設計流量；(3)決定在不同流量下，天然排水或河道之淹沒面積，以估計洪水災害之損失；(4)設計能量坡降控制系統；(5)設計灌溉排水及其他輸水系統。

很多機構業已發展出若干不同的電子計算處理程式，目前正用以估計水流剖面。因背水曲線之決定係基於流量之大小，自下游開始計算某點之水面標高及渠道或河道斷面之幾何形狀，故水文和水力學上卓越的工程方面判斷能力，是有效而適當利用電子計算處理程式之先決條件。

有些處理程式業已具備能夠處理一條渠道或河道上無數斷面之計算，而每一斷面又能分開處理，俾分別考慮主槽和副槽漫流部份所具各種不同之粗率。處理程式為某一特定測站印輸出來的結果，可隨計劃者對該計劃之處理方式而定，而包括水面標高數字和其他有關資料。所指其他有關資料，可能包括主槽及副槽之流量、摩擦坡降和損失水頭、平均流速、臨界標高、橫斷面積，潤周和水力半徑等。

計算互相聯通之水力管網 (Hydraulic Network) 各點流量這種問題，並非特別困難，但常包括一聯串煩雜而費時之計算。過去是沿用哈德克勞斯 (Hard Cross) 氏發展出來的步驟，以人工方法計算複路 (Multi-path) 水力系統各點之未知流量。因為這種方法分析需要進行大量比較簡單的重複計算，故最利於應用電子計算機。目前已有很多不同型式之處理程式被發展出來用以解這類問題。輸入資料計

有摩擦因素和假定之開始流量，而後者常需考慮管徑，粗糙因素，管長和管路接頭，流入和流出量等基本資料而後始行計算，其所得即為管網中每一管路之最後欲求之流量。

電子計算機也可以採用著者(6)提供之方法，便於計算相互聯通各河槽出海處之流量。該方法係應用計算河槽中因素亂而產生湧浪 (Surge) 或湧波 (Bore Wave) 大小的定理演算而成者。這一問題，正如以上所提之另一問題，也需要從事大量、簡單而重複的計算來解決。而使電子計算機成為極適合之工具。這個方法也可以用來決定那些經常受潮汐影響而發生流量及水面標高變化之各低窪河道排水能力。

地下水和土壤水份

為供應灌溉、家庭、都市用水而導致與日俱增自廣大地下水層吸取需要水量的要求，促成了日益增多之複雜問題。這些問題急需解決，俾使有關天然資源，能獲得正當、公平及經濟之發展，有效之利用，及合理的涵養。為求其有意義及有價值，任一水資源問題之解決，務須基於適當的分析方法和足量而正確的基本資料。世界上某些主要地下水層因其龐大之體積，和衆多之地質、氣象和水文資料，除非以探求地下水源關聯問題答案時，所採用最新式之演算方式，求其結果，別無二法。

幾乎所有擬議中之水資源開發方案，如果其中包括地下水庫，則該開發計劃之後果，必需審慎研究，計劃條件下之水文狀況 (Hydrologic regimen)，不同於計劃前者之事實，亦需加以考慮，當可行性研究工作正在進行之中，抑或完成以後，時常尚需對複雜的地下水情況，予以額外的研究，在某些情況下，一個計劃所需研討及運營之範圍，僅是某一廣大含水層中的某一部份而已，或又有其他計劃可以共同利用這個含水層。在這種情況之下，對整個含水層進行全盤性的基本研究，遠較僅就該計劃作局部性研究來得更切合實際。

一個極俱規模的地下水系統實例，在今後數年中，應作相當深入的研究者，即為得克薩斯 (Texas) 州西部和新墨西哥 (New Mexico) 州東部赫埃平原 (High Plain) 廣大之奧哥拉 (Ogallala) 含水層之一部。目前在這個含水層之上，約有 25,000 平方哩土地正在進行開發或計劃開發之中，僅由得克薩斯州西部赫埃平原那一部份含水層已開鑿的地下水井，已達 50,000 口以上，年出水量約為七百萬英畝一英尺。目

前從這一部份含水層抽水的結果，使地下水位急速下降，而亟待該區域以外水源之補注供應。

目前用作估計地下水瀉降及補注之變化狀況，呼應地下水層水位升降之計算步驟，尚未具備足夠的能力，精度和正確性，以適用於大範圍之含水層。過去曾經用來從事地下水分析之電動和電子類比計算機 (Analog Computer)，並不適用於大範圍含水層之研究，其原因如下：(1)最適用於範圍較小的地區；(2)僅能適應變數之較小變化；(3)超量工作而費用高昂；(4)解求問題答案極費時間。

大型電子數字計算機 (Digital Computers) 具有巨大的潛能，以從事大範圍含水層之地下水研究工作。這種工作先首必需完成相當分量的原始工作；演算一種數學模式 (Mathematical Models) 和處理程序 (Procedures)，適用於能充分反應並代表由於天然和人為吸取及補注地下水各種情況下之計算機處理程式。某些較大含水層研究方面之龐大數量資料，常需另行發展新的計算機處理程序以進行分析。正如前所提：遼瀾含水層進行複雜的分析工作，對於水文學家、數學家 and 工程師們而言，實屬於最可怕的挑戰。如無電子計算機可資利用，其所尋求的解答，斷難滿足所需求的正確精度。

雖然電子計算機是從事龐大而複雜的地下水和土壤水份之研究分析工作所必需的工具，其對於解決這方面工作發生的許多小問題，也有莫大益處。就以美國墾務局為例，它曾發展出一種自動繪製地下水位等高線標高的處理程序。所有取自井水，泉水和河川的水位資料，經過電子計算機處理後，即可以求得觀測點所代表範圍以內，各地下水等高線之標高。由該計算機輸出結果型式，可以直接用來輸入另外一座電子描繪器，以供製圖之用。故所冀求之地下水位等高線圖，如此即可以獲得最後之成果。而無需再由技術人員從事任何費力的手工計算和圖表繪製等工作。這些工作如無電子計算機可供利用，煩雜的人工計算工作勢難避免。

有一個電子計算機處理程式，曾利用墾務局以片刻流 (Transient-flow) 觀念⁽²⁾，設計某灌溉區域之地下水排水系統的方法，發展而成。該項決定排水管間距之步驟，同時考慮地下水注入與流出之片刻制態 (Transient regime)，該因素在某些灌區之土壤，灌溉作物和氣候之特性下，於某一特定標高地下水位時，能產生一種動態平衡。

另外一種由墾務局發展出來之計算機處理程式，

以協助計算之方式，專供研究在各種系統營運規則下，地下水化學成份相應變化之用。這項處理程式雖可用來研究與某一擬議中之特殊營運計劃相類同之系統，唯其設計仍應儘可能使適用於其他類似問題。

該項處理程式，原係為從事灌溉研究適應度方面各項研究中，一般調查之一部份工作，所發展出來者。目前情況，該處理程式，可用來決定，因某一市區土層滲漏量之變化，某一農區地下水之滲漏及循環利用，地下水之補注或引用於某一用水地點，滲入海洋或蒸發，以及污水影響等，而發生之地下水化學成份之變化。

計算每一土柱中，各部份土壤化學溶液之陽離子交換率，其所包含變數之數目和數學上之複雜程度，如果想以人工方式作同樣精度計算，則為時間和費用上所不容許，雖然這種處理程式係利用大型高速之計算機，並以高度熟練的技巧書寫而成，若用於一百年長期間資料之研究，其所耗費仍屬驚人。但對於許多其他問題而言，電子計算機乃屬以高速及有效方式，獲得欲求解答之唯一方法。雖然以電子計算機從事研究所耗費用並非少數，然其所得結果及可提供之高價資料已足可抵償矣。

土地分類與利用

在灌溉計劃調查研究上，如以人工方式從事土地分類之面積計算和累計，將屬一種緩慢、勞累，並費錢之步驟，而招致人力之浪費。個別地段需以手動面積儀測定，其面積之計算和累計又需以案頭計算器為之。如果由面積儀讀數累計所得的總面積，與測量所得的面積不一致時，又必須以人工方式，進行統計上的校正步驟，若欲研究之計劃面積廣大並包括多種不同土壤類別和地段時，則分別累計每一種土壤類型之面積這項工作，將需甚多人工一小時 (man-hours)，而使成爲幾近不可能之事。

為消除這種低效率的計算步驟，墾務局業已發展出一種聯串 (Streamlined) 之處理方式，用以計算和累計分類土地之面積。個別地段四週的數字資料，可以利用電子類比數字互換器 (electronic analog-to-digital converter) 和縮尺設備 (Scaler equipment)，在地圖上求得之。地段週圍各點之座標值和有關判斷資料，可以自動地以打孔方式記錄於資料處理卡上。以上這些就是以計算機處理程式從事土地分類之計算、累計及列表等工作。如果某些區段或分段之計算面積需要與原先核定之面積保持一致時

這種處理程式也可以從事於統計學上的校正。由於電子計算機和其他現代化資料搜集設備之廣泛應用，業已節省了相當多的時間、人力和金錢，同時又獲得要求精度之預期結果。

用 參 考 書 目

- (1) COLBEY, B.R. and HEMBREE, C.H., "Computation of total Sediment discharge, Niobrara River near Cody, U.S.G.S., Water Supply Pap. 1357, 1955.
- (2) DUMM, LEE D., and WINGER, JR., RAY J., "Designing a subsurface drainage system in an irrigated area through use of the transient-flow concept," Paper presented at the 1963 Annual Meeting of Am Soc. Agic Engrs., Miami Beach, Florida, June 23-26 1963.
- (3) EINSTEIN HANS ALBERT, "The bed-load function for sediment transportat-ion in open channel flows" U.S.D.A. (S. C.S.) Tech. Bull. No, 1026, Sept 1950.
- (4) FORD, PERRY M., " Multiple correlat-ion in forecasting seasonal runoff," U.S. B.R., Denver Colorado, Eng. Monogr. No. 2, June 1959.
- (5) KOELZER, V.A., and FORD, P.M., "Effects of various hydro-climatic factors on snowmelt run off, "Trans. Am. geophys. Un., Oct. 1956.
- (6) SWAIN, FRANCIS E., "Determination of flows in interconnected. estuarine channels produced by the combined effects of tidal fluctuation and gravity flows," Trans. Am. geophys. Un., Oct. 1951, 653-672
- (7) SWAIN, FRANCIS E., and RIESBOL, HERBERT S., " Electronic computers used for hydrologic problem," J. Hydraulic Div. ASCE, Nov 1959, V11, nHY11 p21-29
- (8) U. S. ATOMIC ENERGY COMMISSION, "Computers, " one of a series of booklets on "Understanding the Atom" Washington, D. C., Jan. 1968.
- (9) U.S. BUREAU OF RECLAMATION, " Calculation of canal and lateral earthwork quantities," Denver, Colorado, Electronic Computer Program Description No. CI-104 May 1962.
- (10) U.S. BUREAU OF RECLAMATION, " Determination of total sediment load in a stream by the Modified Einstein Procedure," Denver Colorado, Electronic Computer Program Description No. HY-100, Sept 1959.
- (11) U. S. BUREAU OF RECLAMATION, " Step method for computing total sediment load by the Modified Einstein Procedure," Denver, Colorado, Project Invest., July 1955.
- (12) UNIVERSITY OF CALIFORNIA, " Short course on optimijation techniques in the planning, design and operation of water resources systems," Los Angeles, Calif, Sept. 9-20, 1968.

徵 稿 簡 則

1. 本刊歡迎有關農業工程之論著，譯述，專題研究，學術講座，資料統計等稿件，如屬譯稿，請附寄原文，或註明原作者姓名、書刊名稱及出版時間地點。
2. 來稿請用稿紙繕寫清楚，註明標點，並請附英文標題及英文摘要，以便與國外學術刊物交換。文內如有插圖，請用透明紙繪製並加墨，以便製版。來稿文責作者自負。
3. 本刊對來稿有增刪權，其不願刪改者，請預先註明。
4. 具有學術性之文稿，經刊載後，致送該文抽印本五十本，不另致稿酬，但可參與該年度論文獎之競選。不用之稿件，當即退還。
5. 稿末請作者註明真實姓名，簡歷及通訊處，如用筆名發表，亦請註明。
6. 來稿請寄：臺北市羅斯福路臺灣大學農業工程學系內農業工程師學會學術組編輯部收。