

# 灌溉系統現代化與自動化示範計劃

## Demonstration on Modernized and Automated Irrigation Systems

曹 以 松

臺灣大學農業工程學系教授

### 一、前 言

臺省由於近年經濟之進步，及工業之發達。已由過去之農業社會逐步邁向工業社會。此誠為一可喜之現象。但在此一轉變之過程中，無疑將在各方面產生甚多之問題，凡此種種問題及阻礙必須一一加以克服與適應。同時更須未雨綢繆，對克服此種問題之對策，先作澈底之研究與檢討，若待臨渴而掘井，則措手不及矣。由於工業之發達使農村人口發生轉移，而使農村之工資提高。提高工資之結果，又使農業機械化脫離口號而成為必然而必需之趨勢。但世人在高談農業機械化之際，往往僅注意農業機械化之最狹之定義及範疇——耕作之機械化，而不知整個農業之機械化，須各方面之密切配合，而非單在耕作工具方面努力所能遠致也。灌溉系統之現代化與自動化實為整個農業機械化運動中不可缺少之一環，臺灣之灌溉系統必須加以現代化與自動化之原因約有下列數端：

1. 節省灌溉工資。
2. 節省灌溉用水。
3. 配合農機具之機械化。

4. 充分利用現代水—土—作物間之新知，與已在工業中，普遍實行之自動化技術，實行科學化之灌溉管理。而高提灌溉效率。

有鑑於以上之各項原因，在農復會水利組及國科會之支持下，農業工程中心及臺大農工系乃從事於此一方面之研究，桃園水利會亦撥款配合而由筆者主持該項計劃。整個計劃又可分成下列之部分：

1. 桃園大圳第四支線水門遙控計劃
  2. 水田及給水路半自動控制裝置研究試驗
  3. 噴灑灌溉自動控制之研究
  4. 水田管路灌溉示範計劃
  5. 田間及水路半自動控制裝置之大面積示範計劃
- 茲將上列各項試驗之結果於下文分別加以說明。

### 二、桃園大圳第四支線水門遙控計劃

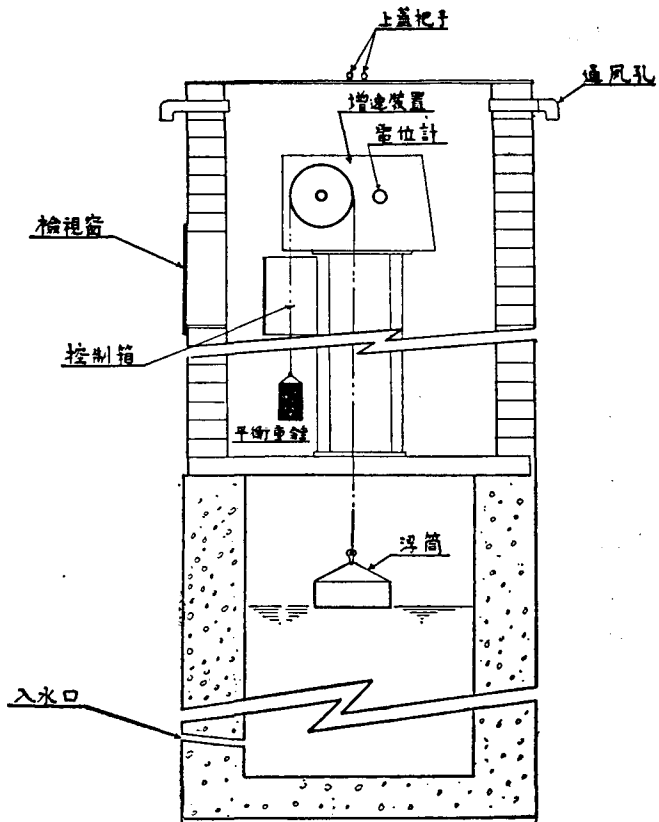
灌溉渠道之遙控，可使整個灌溉渠道系統，納入

一控制中心控制。不但整個系統之運行情形在控制中心可瞭如指掌，同時隨時亦可根據實際之需要而在該中心加以操縱調節，而使整個灌溉系統充分發揮其功效。一般而言，渠道系統之遙控不但可節省操作之人工，同時亦可減少灌溉水之損失，提高渠道輸水效率，避免爭水及偷水之糾紛，並適時將適量之水輸送至指定之地點，俾使灌溉管理人員能確切把握輸水配水情況，因時制宜作迅速而適切之調節。在美國而言，此種遙控設備之裝置費用，不須三年，即可自其節省之人工所償付，尙未計及其所節省之大量灌溉水也。因此，本計劃在桃園水利會之協助下，先選擇桃園大圳第四支線作為實行遙控之先驅計劃，設計試驗並建立一組遙控系統。該一系統設立於桃園農業工程研究中心，距桃園大圳第四支線約二百公尺。整個遙控系統採取有線方式並包含下列四部：

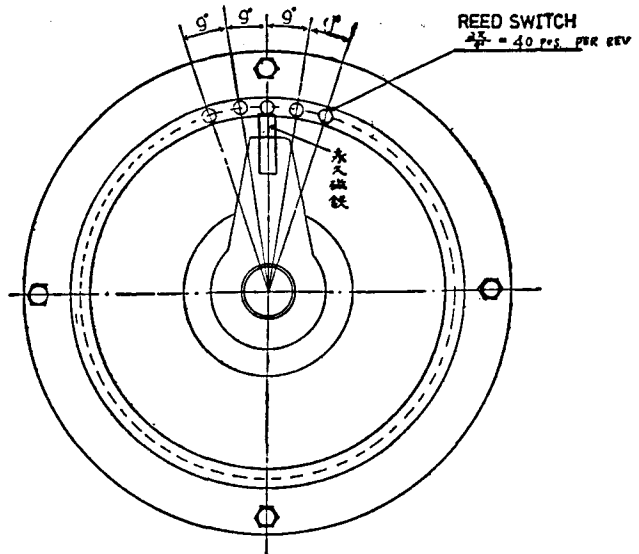
1. 桃園大圳水位測定裝置：本裝置如照片 1 測定桃園大圳之水位，以供控制之參考，測定範圍為 0~2.7 公尺屬於類比型之儀器。

2. 閘門開度指示裝置：本裝置測定第四支線水門之開度如照片 6，以百分比加以表示，以供控制之參考。閘門全開時即開度為 100 % 時，閘門底部以下水深為 75 公分，此一儀器亦屬於類比型。

3. 巴歇爾水槽水位測定裝置：桃園大圳各支線水門之進口後均設有巴歇爾水槽。本計劃在四號支線之巴歇爾水槽之量水井中設立精密水位測定裝置一處如照片 5（因該處不致有潛流發生，故僅測水位一處已足），該裝置共有儀表二個，如照片 6 第一個儀表讀概略之大數，即 10 cm、20 cm 或 90 cm 等，第二個儀表則讀小於 10 cm 之部分，最小之刻度為 0.25 cm，如第一個儀表指針已超過 40 cm 之刻度而第二個儀表之讀數為 3.75 cm，則該處之水位為 43.75 cm。故其精密度實非一般測定水位裝置之所能望其項背也。此一裝置係利用浮筒帶動一永久磁鐵使其轉動，復由永久磁鐵之位置，開啓該處之膜片開關 (Reed Switch) 而使其電阻發生改變，其構造約如圖一及圖二所示。

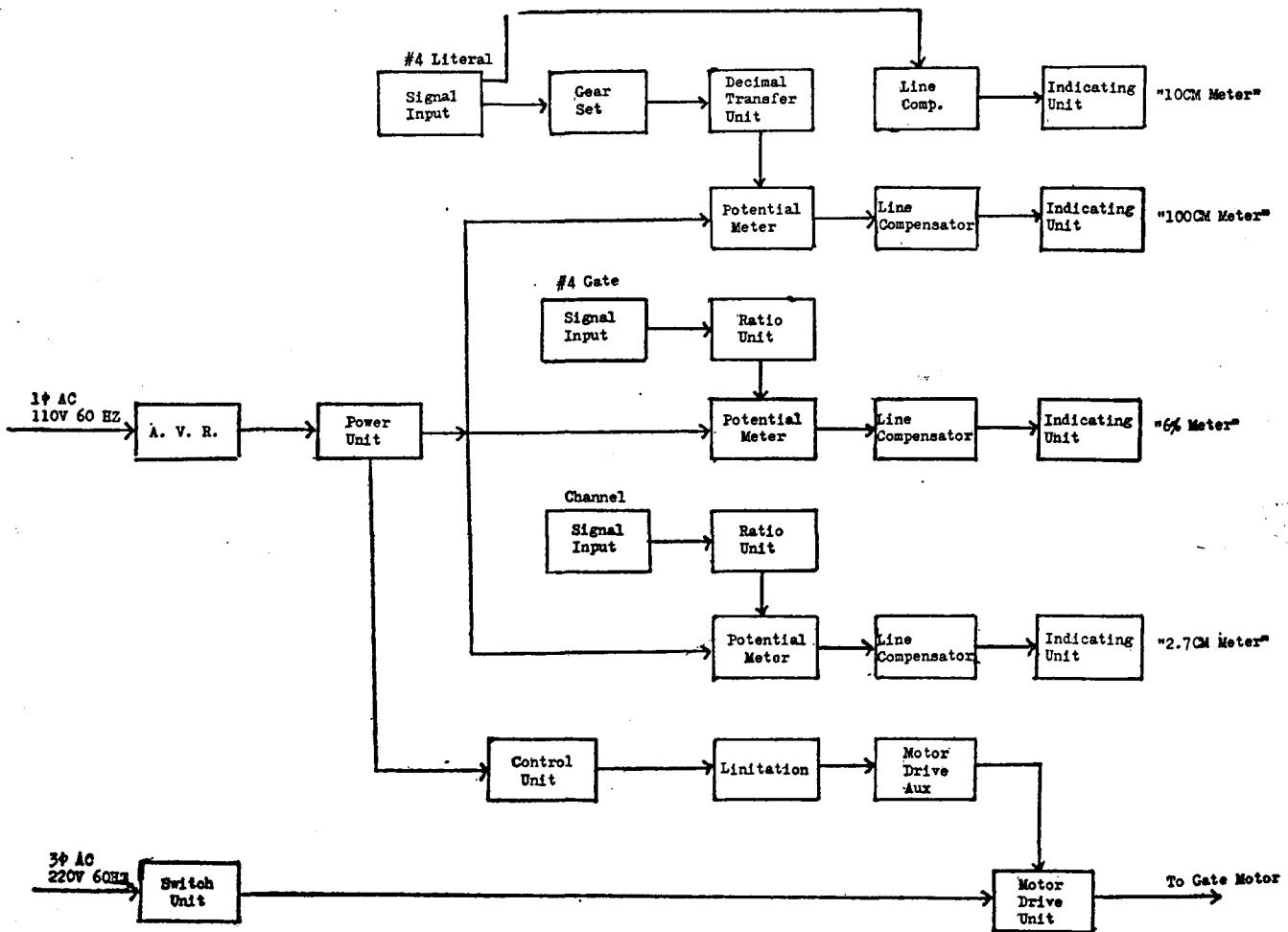


圖一 第四支線巴歐爾水槽水位測定裝置



圖二 巴歐爾水槽以膜片開關測定水位裝置

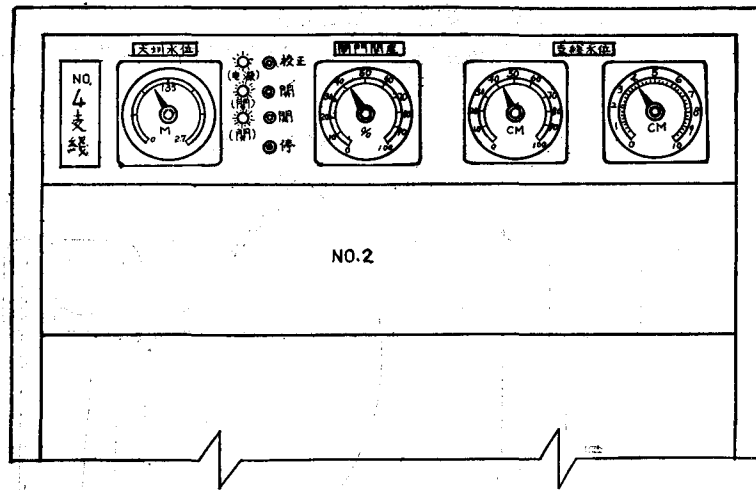
4. 電動閘門及控制裝置： 電動閘門如照片 3 係由一具電動馬達所帶動而在控制中心加以操縱。正轉時漸漸開啓閘門，反轉時則逐漸關閉閘門。在閘門開至頂端及關至底部時均有限止開關 (Limiting Switch) 使電路自動中斷。



圖三 第四支線水門遙控系統之作用示意圖

圖三為整個系統之作用示意圖 (Block Diagram)

圖四為儀器板之佈置圖



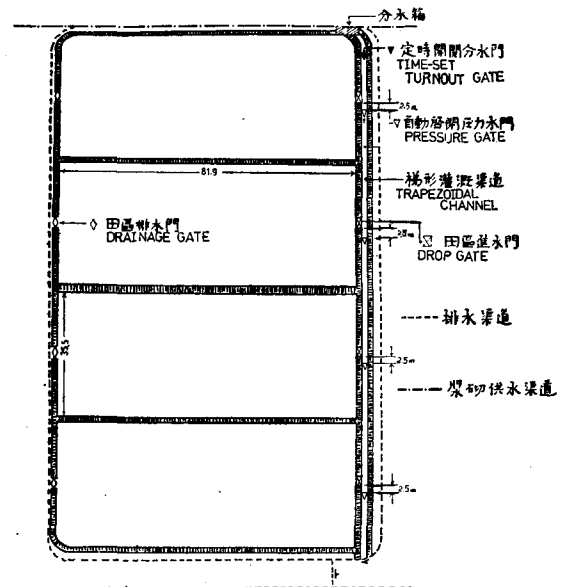
圖四 控制中心儀表盤佈置圖

### 三、水田及給水路半自動控制裝置

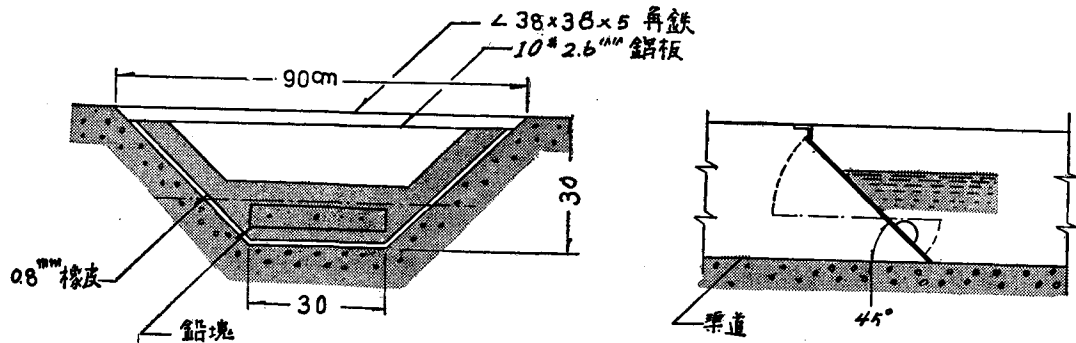
灌溉系統之現代化在幹支渠使其分水配水納入中央控制室之控制外，在田間及小給水路若能設置自動及半自動之水門以使田間之灌溉能自動或半自動進行，則可節省更多之人工，國外此種裝置全部係用於旱作灌溉，不適於水田之用。筆者自民國五十九年起即在農復會水利組之資助下從事此一方面之研究。在本研究計劃中復針對過去所做之成果，再加改良發展並在桃園農業工程中心 1.3 公頃之試驗田中建立一組示範裝置如照片 8，加以試驗之其布置如圖五所示，此組裝置計包括：

1. 定時開定時關分水門：此種水門設置於單區之前，以二具時鐘分別控制此門之啓閉，使此一單區開始灌溉及停止灌溉如照片 10。

2. 自動啓閉壓力水門：此種水門利用水壓自動啓閉。水位低於設定之標準時門即自動關閉，超過此一設定之水位時，此門即自動開啓。其主要之作用在抬高水位，使灌溉水流入田區進水門。設定水位之高度可由門上鉛塊之位置或重量加以調整。如圖六



圖五 水田及給水路半自動控制裝置佈置圖

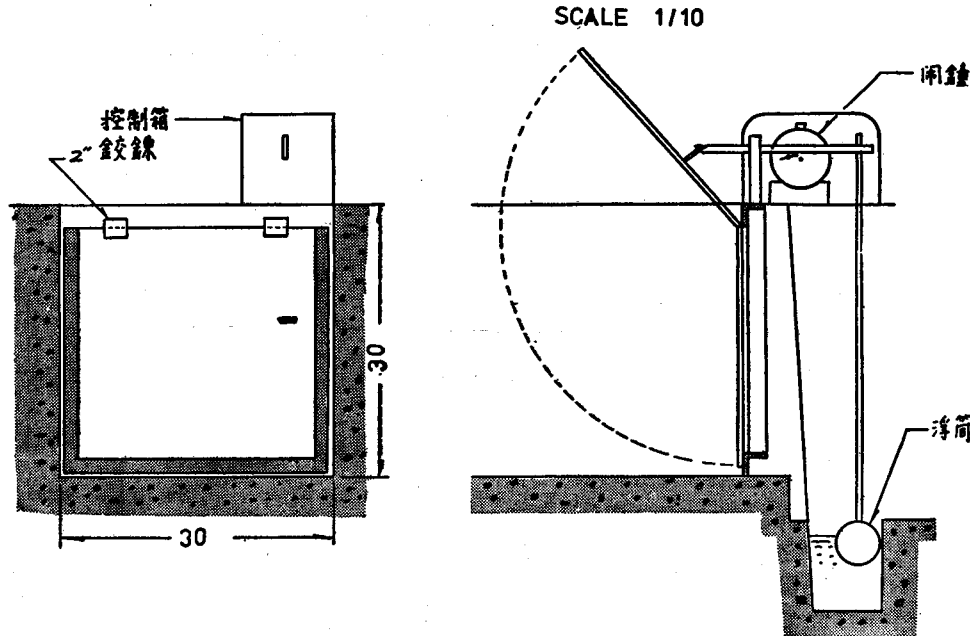


圖六 自動啓閉壓力水門 (PRESSURE GATE)

3.田區進水門：此種半自動水門，(Drop Gate)經設計製造者有三種型式，(1)以定時鐘使其關閉。(2)利用浮筒以田區進口處之水位使其關閉。(3)利用浮筒及電路使田區中某一點之水位達到預定高度時

即自動關閉。以上田區進水門之三種型式均祇能自動關閉而不能自動開啓，故爲半自動之裝置，其構造如圖七所示

4.田區排水門：田區中水深在水稻之生長各階



圖七 田區進水門 (DROP GATE) SCALE 1/5

段應保持不同之限度，過高則對稻作之生長有害而無益，因此多餘之水應立即自動排除。此種新設計之排水門，利用一正方形插板上偏心之矩形孔口，可控制田面水深在四種不同之深度，若將插板取出則田面之水全部排除。故實際可控制之水深爲五種。已足敷實際上之需要矣如照片 9。

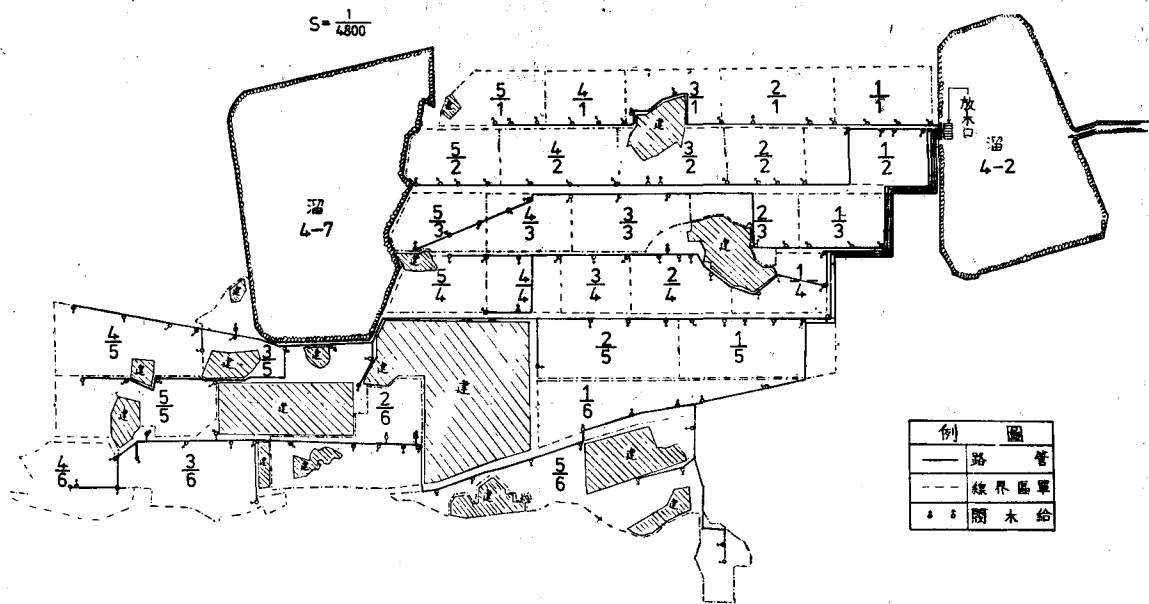
整個灌溉之進行步驟如次：

- 1.單區給水門由定時鐘開啓，水流進入給水路。
- 2.給水路中之水流受自動啓閉壓力水門之阻擋，流入該門前左右二側之田區進口。
- 3.田區灌溉將畢時，進水門由於定時鐘之控制或水位之控制而自動關閉。
- 4.田區進水門關閉後，給水路水位上升，自動壓力水門因之自動開啓。
- 5.水流乃繼續流至下游復爲次一自動壓力水門所阻，而開始灌溉其左右之二田區。
- 6.如此繼續進行，直至最後，單區給水門由定時鐘予以關閉，但水路中之水仍繼續用於灌溉最後之田區，如計算準確，則全無需要排除之灌溉尾水也。

#### 四、水田管路灌溉示範計劃

利用管路作爲灌溉輸水，優點甚多。可避免渠道之滲漏損失一也，增加耕作之面積二也，促進管理之方便三也，節省灌溉之人工四也，無水路除草等保養之工作五也。因此在本計劃中對以管路方式實施水田灌溉之可能性詳加研究。並以桃園大圳第四支渠第二號池塘之灌區爲範疇設計，發包施工。此一工程費用總額達八十九萬五千元。其中五十一萬五千元由本計劃補助。其餘三十八萬元則爲桃園利水會之配合款。本工程之布置如圖八所示。本示範計劃之要點如下：

- (1)全部灌區分爲六個輪區，每一輪區復分爲五個單區。
- (2)爲節省塑膠管之費用起見，盡量採用較小之管徑，除五、六兩支線之上游部分用六吋管外，其餘各支線之上游部分均用五吋管。下游部分則採用遞減之管徑。
- (3)由於採用之管徑較小，當整田灌溉與本田灌溉



圖八 桃園大圳第四之二號池灌溉系統圖

同時進行時，單憑池塘本身之水頭，無法產生足夠之流量故另設三十三匹馬力之柴油引擎帶動抽水機如照片14以增加壓力，預期每期作約需加壓二十餘天。

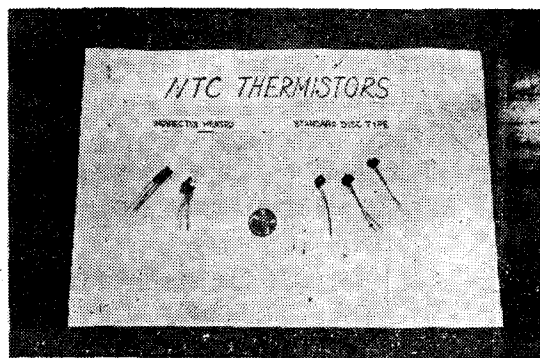
(4)本計劃中工程費每公頃成本約一萬二千元，較之一般農地重劃所增之費用並不甚多。故在未實施農地重劃地區，重劃工程與管路灌溉之設置同時並進則所增加之費用不多，而可獲一勞永逸之利。

(5)由於地形關係，本示範區祇能灌溉管路之一側。如地形平坦，可在管路之二側同時施灌則單位面積之成本尚可大幅之減低。

### 五、噴灑灌溉自動控制之研究

利用土壤水分測定裝置以控制噴灑灌溉系統之發動與停止，原為早已具有之理想。在國外已有此種系統之試驗與使用。但其結果往往不夠理想，原因在所使用之土壤測定裝置不外乎土壤水分張力計，石膏塊或玻璃纖維塊，此數者均具有天生之缺陷。前者能測之範圍有限，後二者則易受土壤鹽分之干擾。因此在本計劃中筆者採用一種熱半導體 (Thermister) 以作為測定土壤水分之裝置。此種熱半導體對溫度極為敏感。其電阻隨溫度而改變，但與一般物體電阻之隨溫度而增高之情形相反，熱半導體之電阻隨溫度增高而減少。在測定土壤水分時，並非測定其土壤溫度，而係測定土壤水分對此熱半導體散熱之影響。熱半導體有二種：一為直接加熱型 (Direct heated)，一

為間接加熱型 (Indirectly heated)。直接加熱型即利用電流流過熱半導體時因電阻而產生之熱量加熱。間接加熱型則除通過熱半導體之二電線外另有二線連接一固定電阻而由該電阻產生熱量。圖九中，右邊為



圖九

三個電阻值不同之直接加熱型半導體，左邊則為間接加熱型熱半導體，中間則為一元新台幣，與此輔幣相比較可知熱半導體之體積殊為微小也。

此種熱半導體在農業工程中心埋於地表下30公分處，以電線接出，並連接一微電壓型控制器 (Millivolt meter controller)。土壤中水分含量愈高則土壤比熱愈大，土壤比熱大則熱半導體散熱容易，散熱容易則保持較低之溫度，因而其電阻較大。當土壤水分降低時，熱半導體散熱漸形困難，溫度升高而電阻降低，當電阻降至設定之歐姆數時則控制器自動發動馬達

及抽水機而實施噴灌。此一噴洒灌溉系統停止噴洒之方法可在下列二法中任選一種：

1.定時法：由定時鐘控制電路，使其在噴洒若干時間後自動停止如照片13。

2.定水分含量法：當土壤水分達到某一數值亦即熱半導體之電阻高至某一數值時，由前述之微電壓表式控制器直接控制，停閉馬達及抽水機如照片16。

## 六、田間及給水路半自動控制之大面積示範計劃

為推廣前述之田間及給水路半自動控制裝置於大面積之農田，本計劃得彰化農田水利會之配合，在彰化縣埔鹽鄉埔鹽埤圳重劃區第三第四兩輪區加以推廣，作為大面積水田自動化灌溉之示範。該二輪區之全部面積為426公頃，分為194筆土地。

由於面積廣大，經費有限，同時將來如欲推廣此種半自動控制至全省各地，則採用農業工程中心試驗田中所用之固定式半自動控制裝置，似有成本偏高，不易為一般農民接受之慮。因此在此區採用搬移式之裝置。以節省單位面積之費用。即同一裝置用於甲單區灌溉後復移至乙單區使用，因此雖所用之原理相同，而型式則頗有軒輊，因該區所用之渠道均為土渠地，此種小給水路穿行於單區中央，灌溉左右二側之田丘，底寬40公分，高60公分，邊坡1=1比降約在1/650至1/1000之間。

在實施灌溉時發現困難頗多，尚須再加改進：

1.田面標高與小給水路平水位之相差參差不齊。增加計算及設置時之困擾。

2.間鐘刻度之精密度不理想。再加設定時人為之誤差，實際上誤差可達7分鐘之多。在小面積之丘塊，此項相差可產生頗鉅之誤差，但在大丘塊之水田則不至有太大之影響也。

3.給水路中雜草及漂浮物，往往阻塞水門縫隙，擊成水門漏水。影響自動灌溉之精確性及灌溉效率。

4.田區劃分不規則，每一壓力自動水門上游有1至4田區進水口不等。致訂定灌溉計劃及設定灌溉時間均有相當困難。

5.部分田丘，仍需越田灌溉，費事費時而灌溉效率仍低。不能發揮自動灌溉之優點。

## 七、結論與檢討

本計劃對本省灌溉系統之現代化與自動化已作多方之研究，在各項研究中，其成功之程度不一，茲當此一計劃結束，研究告一段落之際。謹分別加以檢討，以作嗣後繼續研究之參考。

1.桃園大圳第四支線水門遙控計劃，極為成功，造價廉宜，使用簡便。故有準備推廣至桃園大圳全部

支線之議。但此一水門在遙控方面，尚非最理想之形式。將來擴大時宜改為數字式(digital type)，及增加自動記錄，自動計算之設備，倘能更進一步以電子計算機依照預定之程序(Program)而自動實施灌溉配水，則尤為理想。

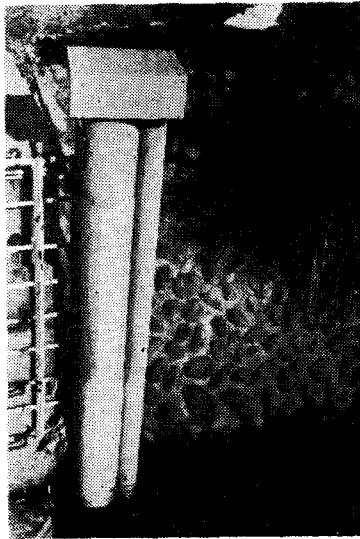
2.水門半自動控制裝置目前尚有甚多之缺點，大面積水田中實施時所遭遇之困難，已在上節加以說明，即在桃園農工中心之試驗田中尚有甚多問題，亟待解決。此種問題如田中各處水位與流量及時間之關係，水田形狀，進水口位置及大小對水流之影響等。此種問題因係三度空間不穩定水流(Unsteady 3-dimension flow)在流體力學中屬於最棘手之問題，現正利用電子計算機作理論之分析中。

3.噴洒灌溉自動控制在農業工程中心實施效果頗佳，但仍然有待改進之處甚多，例如目前僅以一點之土壤水分情形控制整個地區的灌溉。該點之代表性即值得研究。如以多個熱半導體串聯以求各點之平均值則土壤水分與熱半導體電阻間之關係又為非線型(Non-Linear)各點水分差異大時即不準確，又如利用定水分含量以停止噴洒灌溉，則噴洒之水到達熱半導體需要一段時間。故如何設定控制器停閉馬達時之電阻亦相當困難也。因此目前以定時停止方式為主。

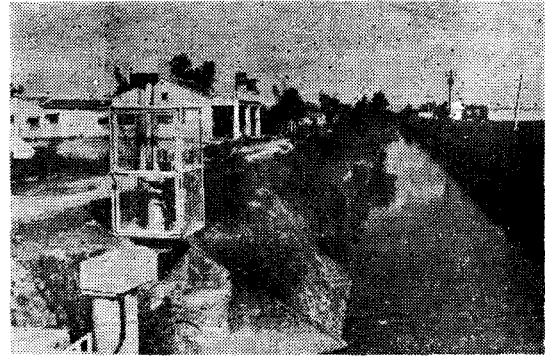
4.水田管路灌溉在桃園大圳第四支線第二號池塘，實施結果頗為理想。但整個面積原為63公頃，但因高速公路之施工，當地交通頓形便利，地價上升，部分農田廢耕而改建工廠，致實際灌溉之面積僅53.70公頃。將來尚有繼續減少之趨勢，此一發展殊為始料所不及，良可憾也。但由此一計劃之成功，可見此種方式之灌溉有管理方便，節省用地，減少滲漏損失，提高灌溉效率等顯著優點。而已為農民所樂於採用，因此不但在桃園地區之池塘灌區可以推廣，其他如抽水灌溉地區亦可採用。尤其在尚未辦理農地重劃之地區，一併施工則成本可以更形降低也。同時，此種管路系統倘配以自動控制之閥門，必可成為較明渠水路之自動灌溉更為理想之自動灌溉系統。此亦殆為將來發展之必然趨向也。

## 八、感謝詞

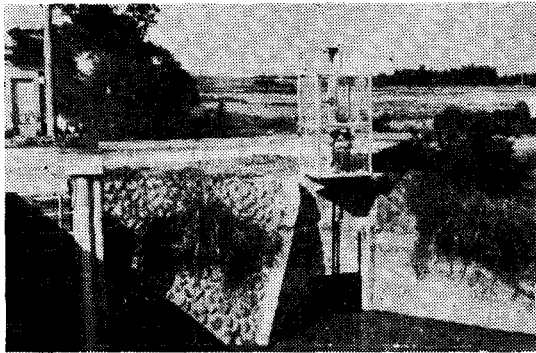
本研究之得以完成，全賴農復會水利組及國家科學委員會之補助。此外桃園農田水利會及彰化農田水利會對本計劃分別密切配合，使本計劃能適應農民之需要對實際灌溉有所貢獻。臺灣大學水工試驗所檢驗本計劃管路系統所用水表。又林福珣小姐及柯南英，林達雄，陳獻，黃明智，程繼起諸先生，劉麗全小姐分別為本計劃之試驗，設計，施工，監工，資料整理文稿抄寫及校對等工作勞心勞力，筆者謹於此致衷心之謝意。



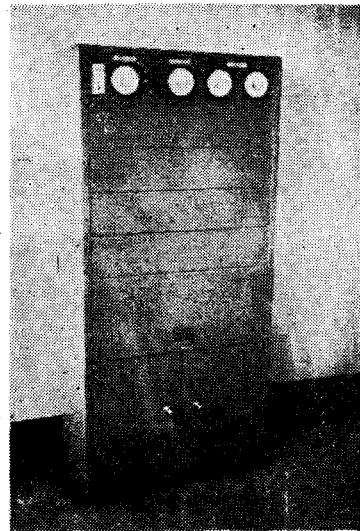
照片 1 桃園大圳水位測定裝置



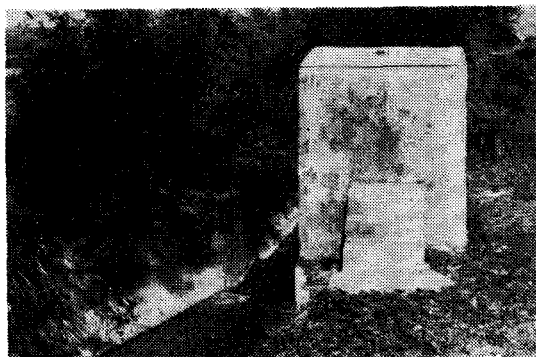
照片 2 桃園大圳及遙控電動閘門



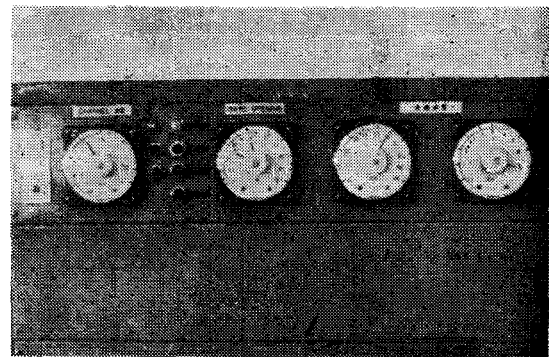
照片 3 桃園大圳第四支線進口水口及電動閘門



照片 4 控制中心儀表箱



照片 5 巴歇耳水槽水位測定裝置



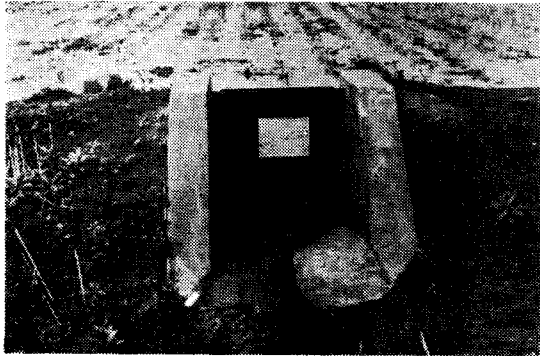
照片 6 控制中心儀表盤佈置情形



照片7 田區進水門開啓安置情形



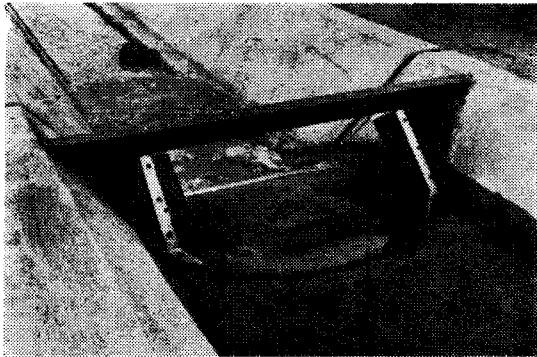
照片8 水田及給水路半自動控制裝置試驗田現場



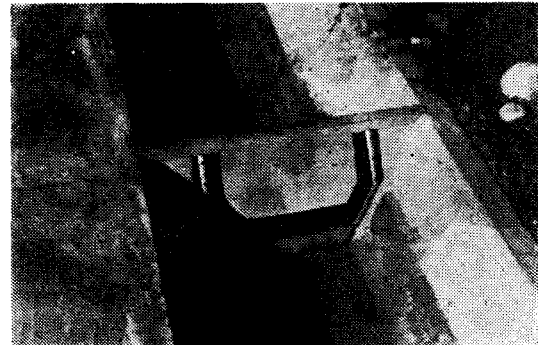
照片9 田區排水門



照片10 定時開，關之分水門

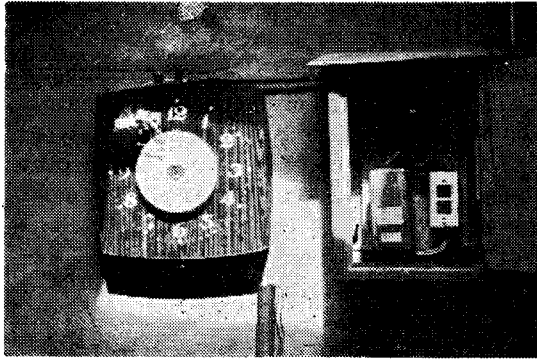


照片11 自動啓閉壓力水門之開啓情形

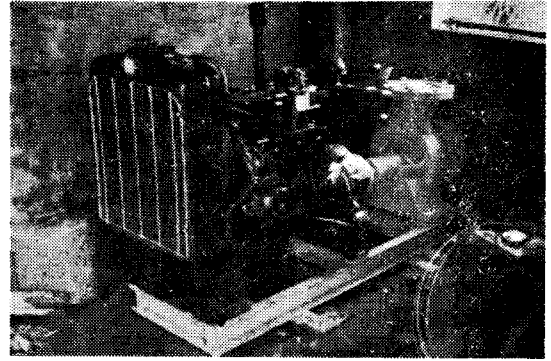


照片12 自動啓閉壓力水門之關閉情形

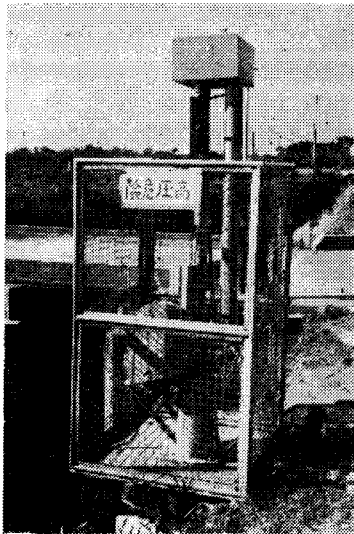




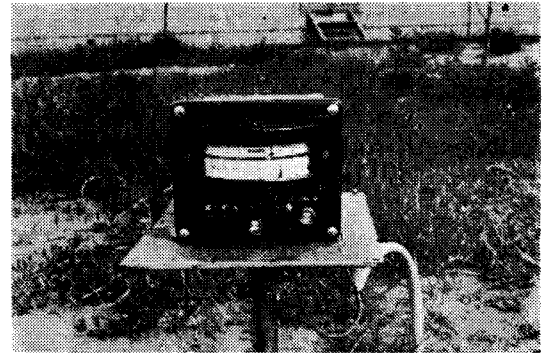
照片13 電磁開關及定時開關



照片14 三十三四馬力之柴油引擎及管路加壓系統



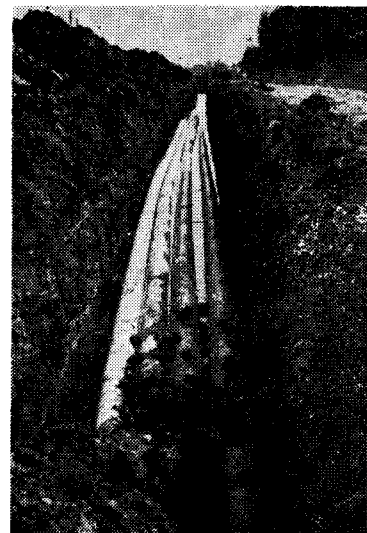
照片15 電 動 閘 門



照片16 土壤水份控制儀器 (控制噴洒灌溉系統)



照片17 管路灌溉之給水閥



照片18 管路鋪設現場

## ABSTRACT

In order to keep pace with the mechanization and modernization of agriculture and to cope with the everrising cost of labor, as well as to promote the irrigation efficiency, the conventional irrigation systems have to be modernized and preferably to be put into automation. Eversince the take-off of the industries of Taiwan, this aspect becomes more pressing day after day in the minds of the far-seeing experts. To meet the challenge of this problem, this project was undertaken by the Agricultural Engineering Research Center With the Subsidiary of the Joint Commissiry on Rural Reconstruction and The National Science Council. The whole project may again divided into five subjects as follows:

1. Experiment on the remote control of the lateral gate of the 4th lateral of Tao-yuan Canal.
2. Experiment on the Semi-automatic control structures for paddy fields and farm ditches at AERC.
3. Experiment on the automatic control of sprinkler irrigation at AERC.
4. Design and demonstration of pipe irrigation system for irrigation of paddy fields at Tao-yuan with an acreage of 53.7 ha.
5. Demonstration of Semi-automatic control structures for irrigation of paddy fields at Chungwa with a relative larger acreage of 42.6 ha.

The proceedings and findings in the above mentioned five subjects are discussed in detail in this report with emphasis on the short-comings and merits of the devices developed. In conclusion, after the completion of this project a big stride has been made in the right direction for the modernizatjon of irrigation system, however, a stride is just a stride, there are still much room left for improvement, extension and further research.

承包土木、水利、建築工程

三忠營造廠

地址：雲林縣西螺鎮新豐里二六一

承包土木、水利、建築工程

詹合興營造廠

地址：雲林縣背崙鄉西尼村一八六號

承包土木、水利、建築工程

興賢營造廠

經理 林尊賢

地址：雲林縣水林鄉萬興村一〇號

連絡處：北港鎮文化路一三六號