

學術演講詞

人工補注地水

Artificial Ground Water Recharge

史庫茲著 E. F. Schulz

科羅拉多州立大學土木工程系副教授

林福玳譯

臺大農工系研究助理

民國60年4月22日在中國農業工程師學會演講詞

一、引言

地水是指貯存在地表以下含水層中的水。到今天，地水的利用範圍是愈來愈廣了。利用地水的好處很多，譬如(一)將水貯存在地下，可免去蒸發的損失。因為地水水面不和空氣直接接觸，即使空氣乾燥時，水分子也不會很容易的擴散到空氣中。(二)將水貯存在地下，則地面可作為其他用途。譬如作為耕地，建立城市或設立工廠，使土地能有雙重的用途。含水層又具輸水作用可省去開掘送水設備的費用。

二、地水的補注

假如我們要利用貯存的地水，則地水的抽取和補注必要能平衡，否則含水量會不斷的減少。地下貯存的水就好比銀行的帳戶，提出來的款項決對不能超出存入的量，否則就不免墮入獄。地下水的補注就好比帳戶上的存款一般。地水的天然補注法包括：

1. 降雨的入滲。
2. 由河床產生的滲漏。
3. 由灌溉田區所產生的滲漏。

在地表層淺而透水性好的地區，降雨是地水補注的一大來源。降雨後，窪地的水就慢慢滲入地下而補注地下含水層。另一種自然補注法是當河渠流過地下含水層區域時，由渠底直接滲入。譬如淡水河就能補注臺北地區的地下含水層。河流補注地水的效用遞減得很快，因為河流所夾帶的細質的沖積物會沈澱而阻塞了渠底的空隙，使河水不能再順暢的滲入地下水層。不再具有補注地水的功用。

第三種天然補注法是由灌溉田所產生的滲漏。假若田區的灌溉量超過植物根部的需要，多餘的水分就會向下滲漏，補注地下水層。在美國有時也能看到這種自然產生的含水層。這些地區，在某些季節的灌溉

量過多，就大大的增加了地水的存量。在大面積上過剩的灌溉水實為地水的一大來源。假若這種觀念確實可行的話，我們可以在水量充沛的季節多灌溉，讓剩餘的水分滲入成地水，等到乾旱的季節再用抽水機打出利用。在東巴基斯坦區，雨季長而雨量大，洪水淹沒的範圍常常廣達幾千平方公里。要控制這樣的洪水並不容易，但現在正著手研究如何在乾季時利用洪水所造成的充沛地下水。在乾季時，儘量抽取利用地下水，使含水層在雨季時能容納更多的滲漏水，這對於洪流的控制不無裨益。

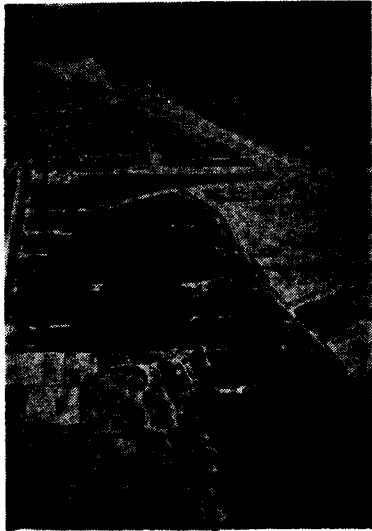
三、地水的人工補注

從含水層所抽取的水量往往會超過天然的補注量，而抽水機的馬力愈大，抽取的水量愈多。假如地下水的抽取量遠超過天然補注量時，我們必得考慮以人工補足天然補注量之不足。一九五九年塔德氏(Todd)曾提出下列四種人工補注地水的方法。

1. 使水流漫溢地面法
2. 補注用的集水塘
3. 補注用水坑
4. 補注井

四、使水流漫溢地表法

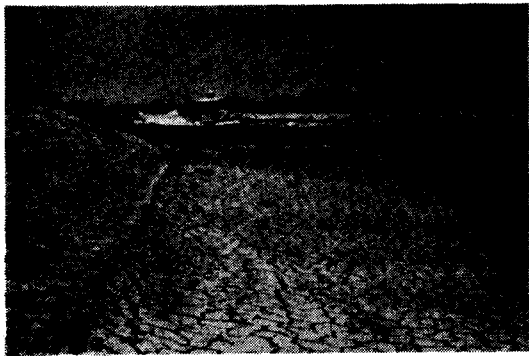
這種方法適用於表土透水性好的地區。河渠附近最常見。這種地區從表土開始皆具含水作用。但地水的自由水面在河床面以下。假定有一條寬廣的河渠，我們可以將水攔截滙集，使水能有充分的時間滲入地下成地水。譬如南加州聖塔安那河。在洪水季節時就利用低矮的砂壩攔住水流，充沛的水量得以大大的補注地水。圖一為南加州的翰聖壩和防洪蓄水庫，蓄積的洪水慢慢的從壩上流下，流入渠道中，再補注兩邊流域的地下水層。



圖一 洪水由南加州翰聖壩 (Hansen Dam) 上溢流而下，漫溢整片砂質河床而補注地水。

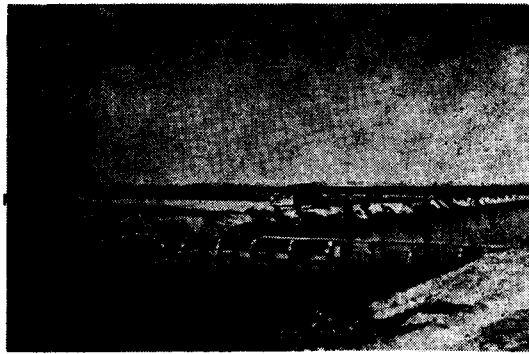
五、補注用集水塘

這種方法和前一種方法大致相似，在流域中掘一小水塘，使水得以滲入地下。流域中河渠的坡度太大，水流沒有充分的時間滲入地下，就採用這種方法。集水塘在管理上要注意淤塞的問題。因為集水塘塘底慢慢堆積了層層的沉積物，使滲漏發生了困難，我們常將這層沉積物刮起來填築堤防。每隔一段時間，就必得進行這種補救的工作。圖二為加州里歐 杭 德 (Rio Hondo) 的廣大地區。沉積的黏質土久經日曬后裂開。清除沉積物，使滲漏保持順暢為管理上第一要務。這種沉積物層含有充分的有機質，土質肥沃，可用做花床，溫室和環境美化之用，或和一般土壤混合，價值很高。漫溢法和集水塘法的主要不同就在發生沉積的時間的長短。漫溢法僅僅發生在河渠的水漫溢時，因停留的時間短，除非滲漏性大的土質，無法大量補充地下水層。而集水塘將水貯存起來，使有充分的時間滲入地下。假如地表層的透水性差而又需大量的補充地水時，通常使用集水塘法。圖三為一連串



圖二 補注用水塘的塘底，沉積物堆積成層。

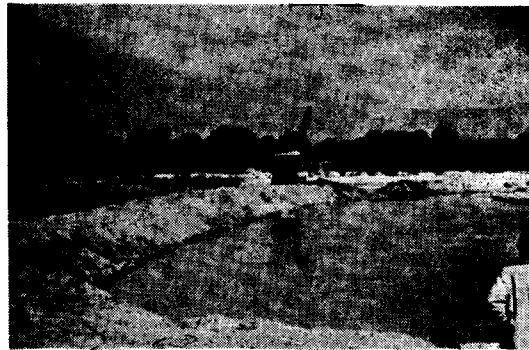
的補注用水塘，由河渠引水，貯存在塘中。



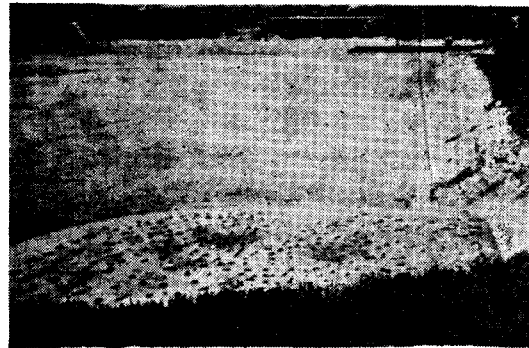
圖三 一連串的補注用水塘中充滿了由河流所導出的洪水。

六、補注坑

假如含水層上的土層非常緊密，要挖水塘十分困難；或者含水層距地表太遠，挖水塘的耗費龐大，就用補注坑。這種深坑往往要掘入地下達好幾公尺，故常用堆土機的設備。圖四就是採用這種設備挖掘深坑。使用深坑時，坑壁和底部同時滲漏。但是使用這種方法，仍然會碰到同樣的問題——我們必得要定時除去淤積的泥砂。不過這種淤砂只影響坑底的滲漏，坑壁仍然保持其滲漏性，圖五即指出坑底的淤砂要刮出來，以保持有效的滲漏。



圖四 加州聖塔克萊拉河 (Santa Clara River) 流域，利用推土機設備挖掘出的補注坑。



圖五 補注坑最后也可能被泥沙沉積，用一般農場設備刮除可恢復其部分滲漏率。

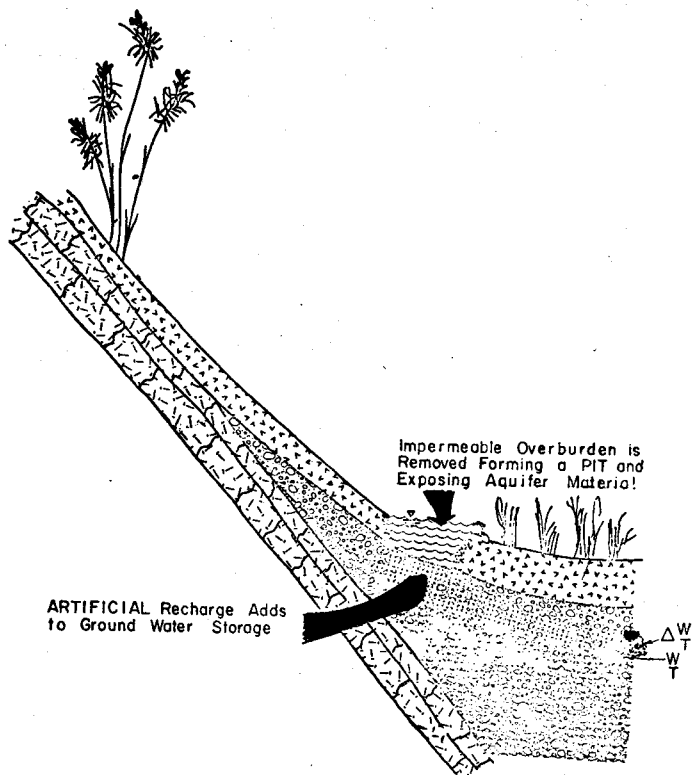
七、補注井

當不透水的地表層厚度達十公尺以上時，採用補注井。雖然在加州這種地區，曾經掘過深達一百呎（相當於三十公尺）的深坑，但一般來說，在這種地方深坑並不是實用的辦法。

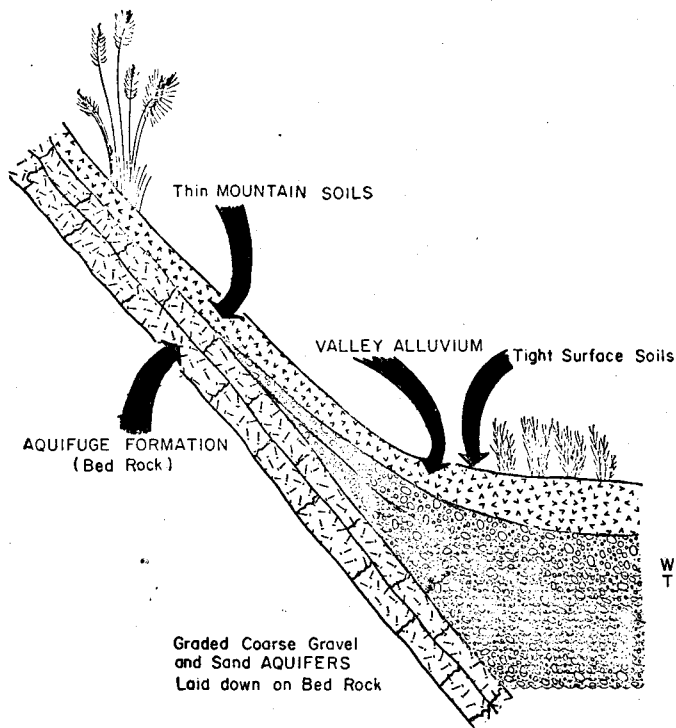
補注井外表同抽水井一樣，唯一的不同是抽水井是用抽水機抽水而補注井是將水注入。假如地表有特殊的用途，不能容許水流漫溢時，採用此法。譬如城市中土地的價值高，若要補充地水，最有效的莫過於採用此法。

八、臺灣地水補注所發生的問題

在臺灣，我們應該和如何採用那些補注的技術呢？臺灣流域地區的價值很高，必須用來從事農耕或做為住宅地。由於人口的壓力，坡度平緩的良好地段必得用來從事農業的生產。所以需耗費大面積的漫溢法和水塘法皆不適用。但有時採用水塘法還可兼而從事養魚業。



圖七 在河谷邊緣的小型補注坑可補注沉積錐中的含水層。



圖六 礫質的沉積錐也可能被細質的沉積物所阻塞。

河谷地區水流由山上漫下，得以補注地下水層。在這種地區，由上游向下游，粗的礫石會構成一沉積錐。由於水稻的種植或梯田的開拓，河流帶下許多細質的沖刷物沉積下來。圖六正指出了這種情形。雖然我們在這種地區灌溉，但是由於耕作使自由水面愈來愈遠離地表，使河流滲入含水層的水量大大的減少。在不透水層較淺的河谷邊緣沉積區，常利用小的補注坑或水塘。由這些坑或水塘移去了沉積物，使滲漏性大的礫質土露出而保持補注的順暢（見圖七）。所以在河谷邊我們可以掘一連串的坑或水塘來補注地下水。這樣當洪水季節時，多餘的水就能貯存起來，不會全部流失到海裏去。

九、城市地區的地水補注

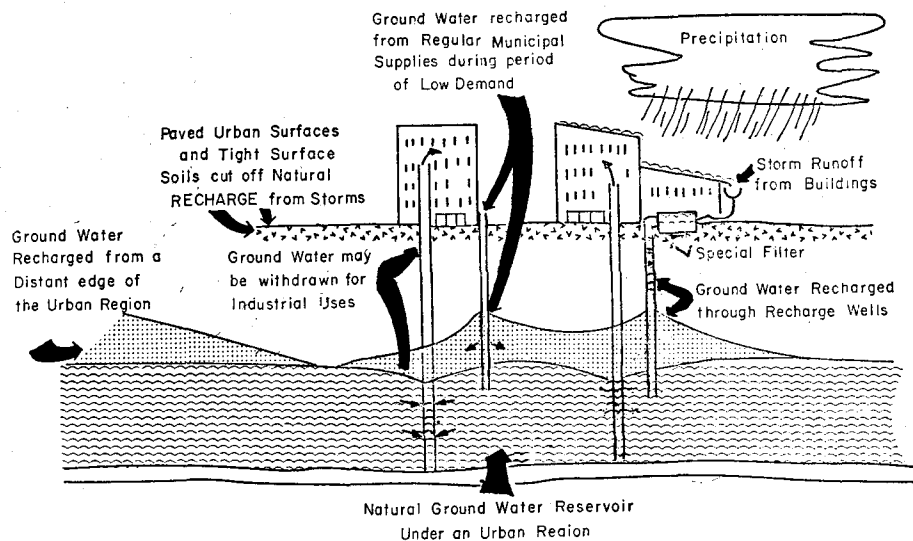
我們先討論臺北市近周的臺北盆地。臺北市位在這個谷地的中央，和河谷的邊區相去甚遠，假如要利用這種邊區來補注地水是很困難的。城市中常有許許多多各類的井，很容易造成地下水的過量抽取。而道路，建

築物的興建和完善的排水系統又大大的減少了天然補注地水的機會。這樣下去，地水水量不斷的減少，土層愈來愈緊密，最後會造成地層的沉陷。為防止土層的壓實，設法補充城市區的地下水量，實為當務之急。

城市的土地價值高，假如使用補注水塘或補注坑，所佔地方太廣，很不經濟，故甚少使用。在這種地區，土層常常堅實而厚，唯一可行的辦法，就是採用補注井。使用補注井的方法又有好幾種。第一種方法是利用市區的自來水供應去補注地水。在夜間或假日，當市區的需水量低時，就採用這種方法。整個市區配水系統中多餘的水量就可利用來補注地水。這個計劃也常常利用補充后的地水做為城市供水系統的水量

來源。當然了，這種方法也會遇到許許多多的問題，但這些問題並非不可能解決。在臺北地區，至少我們應該做一些實驗來證明這是否為可行的辦法，並設法解決各種特殊的問題。

第二種方法是從大建築物的屋頂上收集相當清潔的暴雨，讓這些雨水通過一簡單而不佔地方的濾清設備後補注地下水。這種方法顯然只能在雨季時採用。如果遇到很長的乾季，就沒有辦法再維持一定量的地下水位了。使用這種方法，必得謹慎的採用濾清設備以免地下水受到污染。同時，又要避免從建築物和街道所沖刷下來的砂礫和塵埃的沉積，否則補注井本身就不能維持其工作的效能。說不定，又得再挖一口井了。這些補注的計劃可參考圖八。

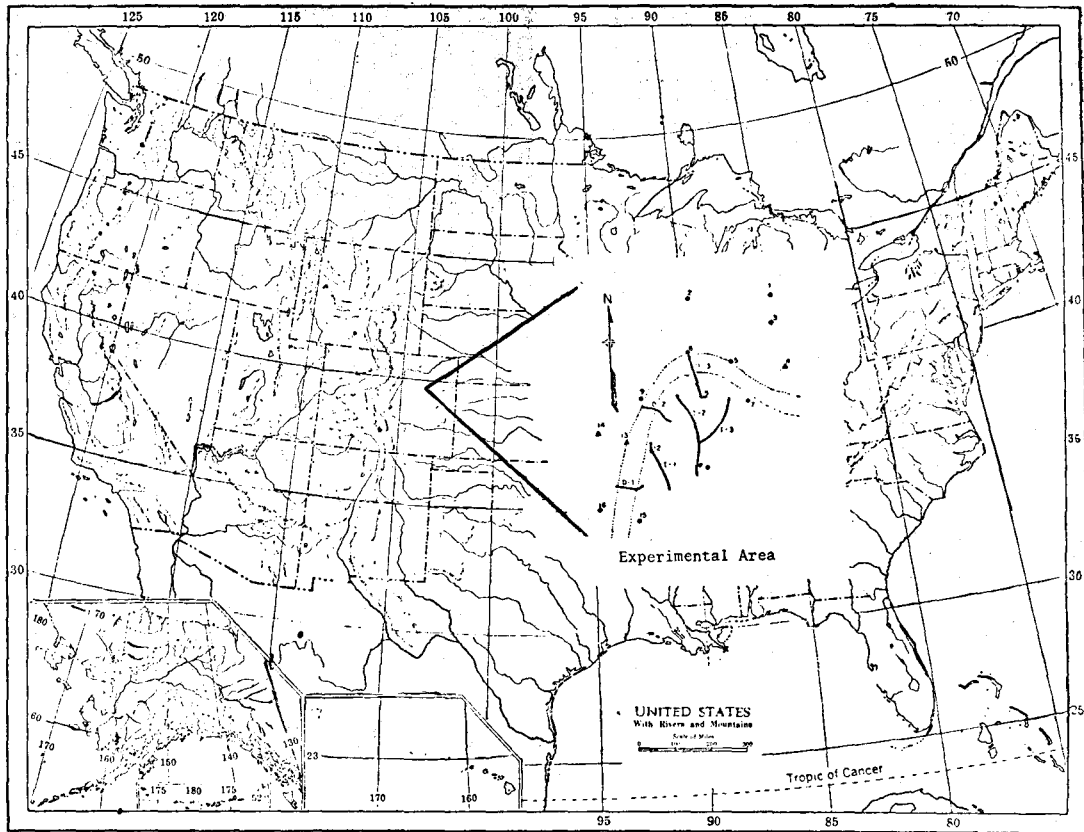


圖八 城市地區補注地水的可能性。

假如城市供水系統中的水壓太低時，整個供水系統沒有辦法供應這個地區需要的水量，在這種地區要補注地水。仍然採用補注井。要解決水壓低的問題，可以加大管徑，或者在需水量最大時，增加整個供水系統的儲水量。譬如在臺北市，有很多地區的需水量是由地水供應的。我們在水壓特別低的地區掘井，在需水量最大時，可從井中抽水利用，而在需水量低時，就用做補注井，補注地水，就可以兼而解決低壓的問題了。這樣的井，我們也要嚴加規劃以控制水量的超抽，使注入的量要多過抽取的量。不論如何，我們一定要先做了研究試驗以後，才能發現這種計劃在實際上的限制和運用上所發生的問題。

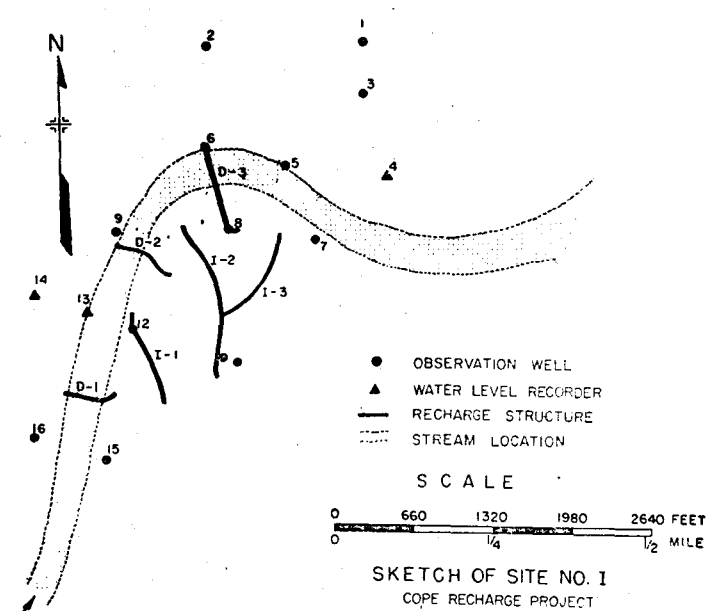
十、地水補注研究的實例

地水補注的成效是很容易觀察出來的。但是含水層的實際變動情況却非表面可見。要證明我們所預計的效果和實際情形是否相符，必得要做實驗。人工補注地水的研究計劃目前已有所發現 (Longenbaugh, 1966) 這個計劃是在科羅拉多州進行。圖九可看出這個實驗計劃地位於美國的中心區。這個地區雖然地形略有起伏，但坡度平緩，和西部山區相形之下，地形相當平坦。由西部山區延伸下來的整個含水層含水能力相當高，但是由於氣候的乾旱，水量得不到補充。家庭、都市和灌溉用的抽水井又使地水含量日漸減少。



圖九 地水補注實驗區的位置圖。

這個實驗是在一所謂間歇性的河流上進行。那就是說，這條河流只有在春季雪融和夏季間歇性雷雨時才得到水源供應。在這裏，首先我們必得設立集水的壩或其他的構造物。在這個實驗區，共建了三座小型的壩和三座堤防，使水流集中，再溢流到河渠旁邊的低地去。圖十為一號實驗區，由圖可看出三座壩，三道堤防，觀察井和河流主幹的位置。在這裏，我們設置了許多地水的觀察井以觀察由河流補注地水的變化情形。圖十一為空中照相所攝得的第一、二、三號壩和三座堤防的位置情形。這張照片是由上游往下游看的。洪流由上游流到約為照片中央的位置時，由這三座壩的阻擋，使水漫溢到兩旁紫苜蓿叢生的低地去。三座堤防則將水攔成水塘，使水有充分的時間滲漏。



圖十 一號實驗地上的壩，堤和觀察井的位置圖。

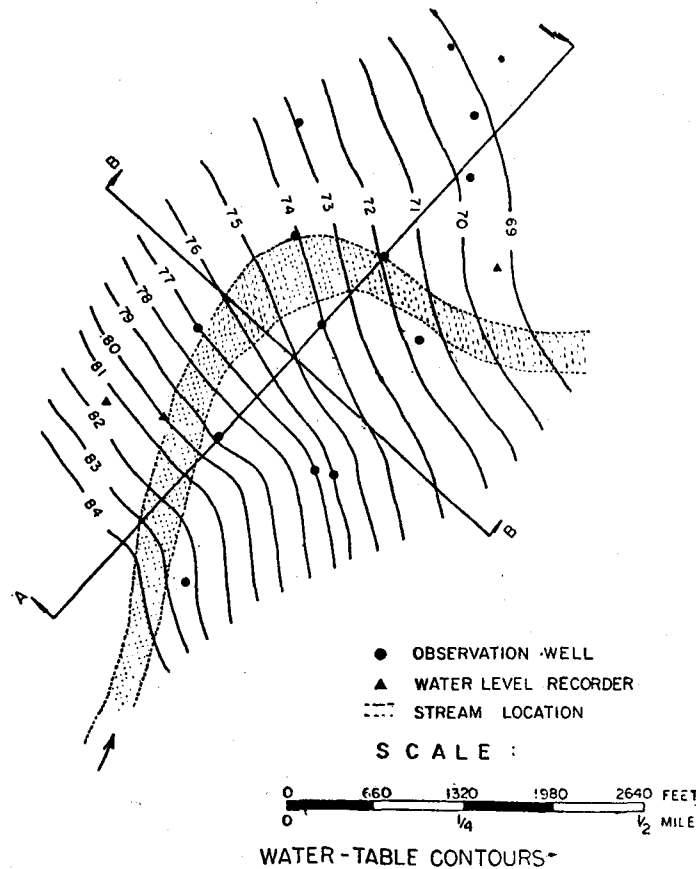
圖十二為補注前，由地水觀測井所得資料畫出的地水等水位線圖。由圖中等水位線可以看出，地水水位愈向下游(圖中的東北角)愈低。圖中同時標出截面 A 和截面 B，這些橫截面在后面的圖中會說明。圖十三為經過兩次洪水以后的地水等水位線圖。在截面 A 和 B 的交點地水水位最高。這種峯狀的地水增加分佈量就加在未補注前的地水水位圖上。這些增加的地水量，是由於三座壩和堤防所攔截貯存於含水層的。峯狀的地水補注量可由圖十四中補注后的地水水位減去補注前的地水水位。圖十五即為峯狀補注量分布圖，圖中又可看出補注前和兩次洪水前后的地水水位圖。第一、二、三、四、五、六號井的地水水文圖見圖十六。這些井皆具水位記錄的設備。這些水文圖即為一年記錄所得。在這個地區，補注的地水隨時間當然會有些許的減少，但是不會毫無阻攔的迅即流失。這個研究計劃證明了這些工程設備的確有其益處。含水層亦能得到相當的補充。在目前，不只科羅拉多州有這種研究工作計劃和資料的收集。對臺灣地區而言，補注



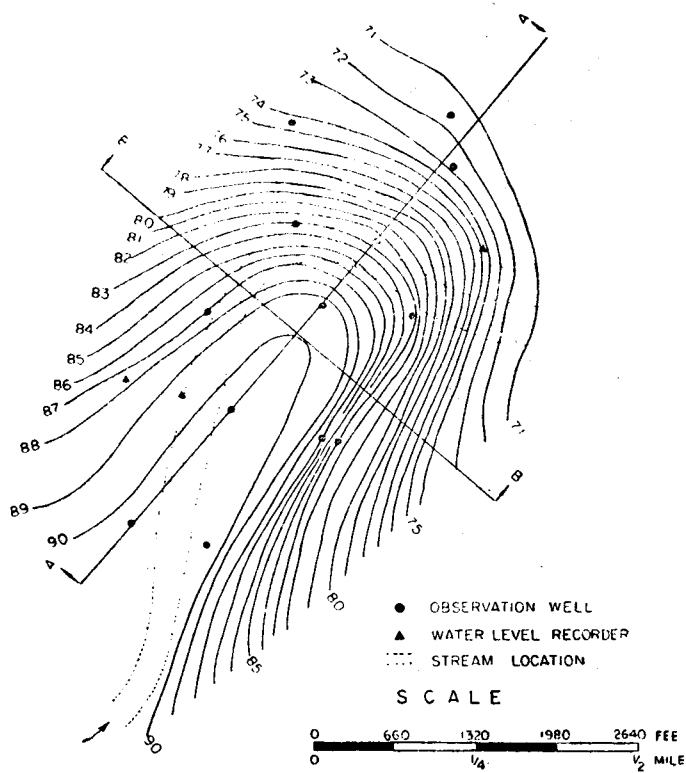
圖十一 利用空中照相由上游所攝得洪水期一號實驗地的情形。

上的問題和科羅拉多州雖然不盡相同，但是這樣的研究計劃是仍然值得推行的。

註：在此文中滲漏到含水層的謂之地水，凡滲漏到含水層以上對作物生長影響較大的講之地下水。(見水資會，水文語彙)

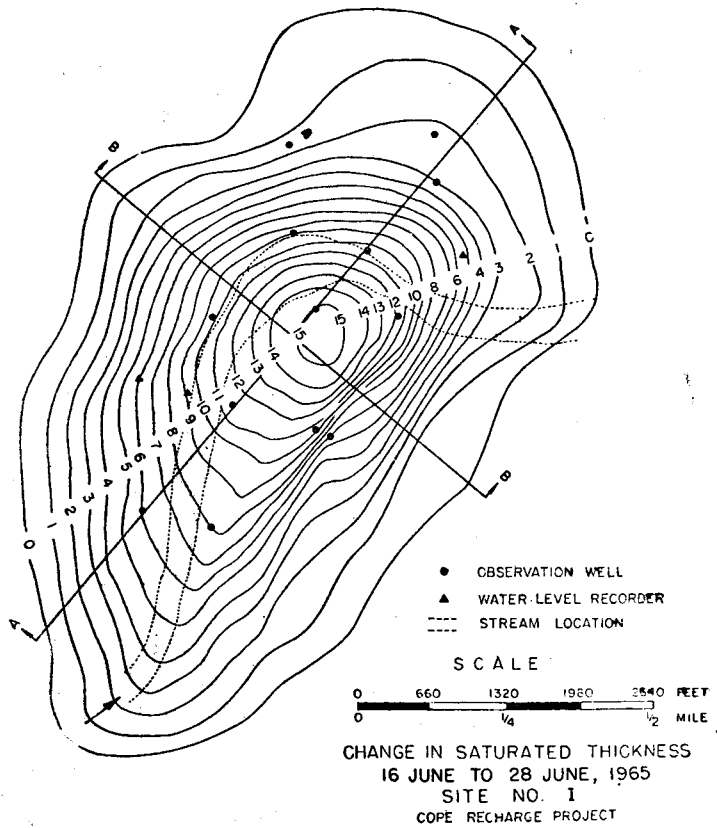


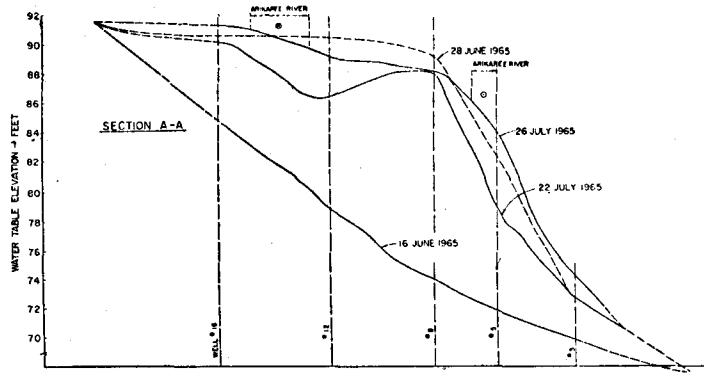
圖十二 雨季前未經補注的地下水等水位線。



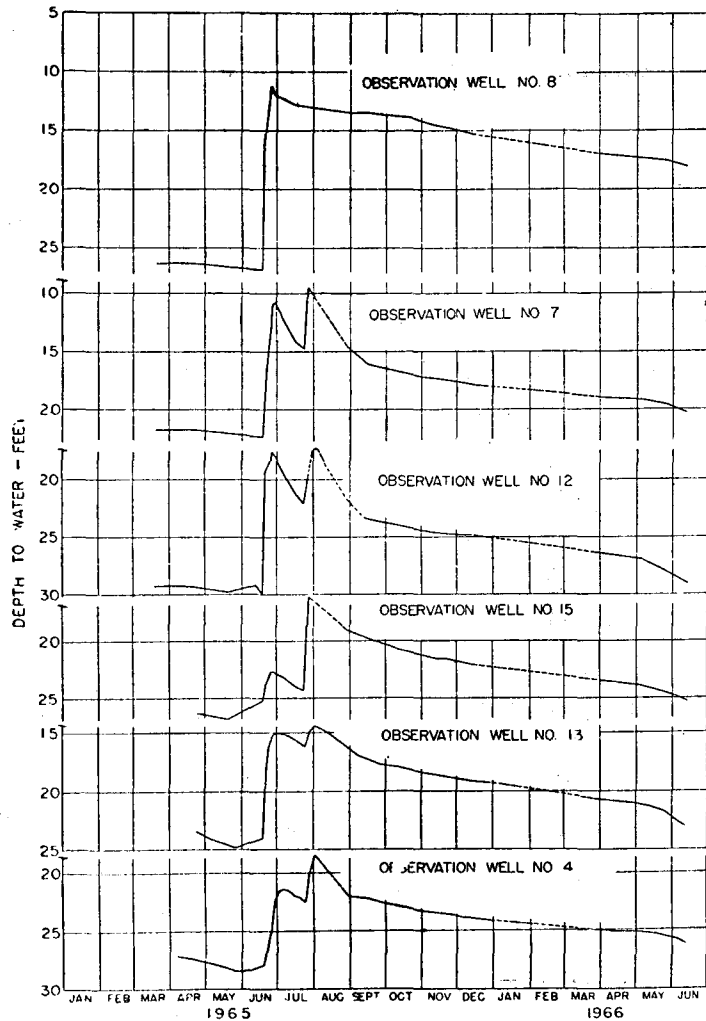
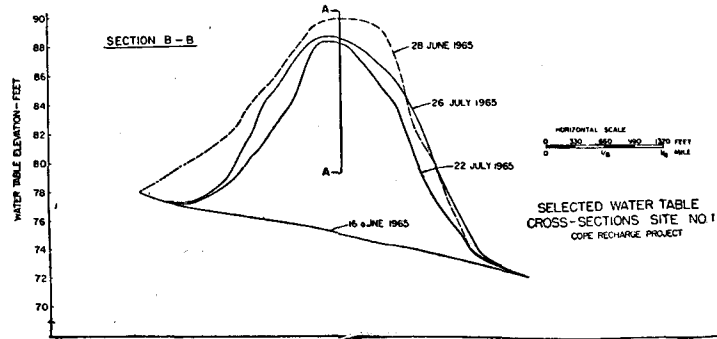
圖十三 兩次洪水後的地水等水位線。

圖十四 峯狀的地水補注平面圖。





圖十五 峯狀的地水水位截面圖。



圖十六 由觀察井的水文圖可見地水補注后的持續時效。

WATER LEVEL FLUCTUATIONS IN OBSERVATION WELLS SITE NO. 1
COPE RECHARGE PROJECT