

(一) 研究實驗工作：嘉南輪灌研究區四十三年十一月設立，桃園實驗田四十四年春設立，台中實驗田四十六年春設立，現依計劃進行研究實驗中。

(二) 示範工作：桃園輪灌示範區四處，因全面推廣業已結束，新海示範區二處，台中示範區二處，高雄示範區一處，現仍依計劃繼續進行工作中。

(三) 推廣工作：依推行輪灌四年計劃，第一年推廣面積 116,746 公頃，總計改善工程費預算

972 萬元，現正施工中，預計本年六月中可全部完成。

(四) 灌溉事業管理規則，已經省府 (46) 建水字第一四三八八〇號令公佈實施。

(五) 幹部人員訓練：四十五年六月第一屆訓練班結業。

以上為略舉過去一年來數項農業工程上較為重要之成就，聊以報導。同時亦為對一年來各有關工作人員之辛勞，表示敬意。

深井之出沙問題及其防止方法 王孔德

一、引言

深井出沙問題一向為深井建造上與使用上最頭痛之問題，台糖公司第一期建造深井工程一二五口，每年支付深井保養與抽水機修理費用達十餘萬元，費用之百分之八十均用于二十餘個出沙井之抽水機修理與保養上面，由于修理費用浩大，維持困難，致使用上成為重大之負擔，嚴重者終不得不放棄其利用而成廢井。究竟出沙之詳情如何？出沙之原因何在與能否防止？防止出沙之理論，步驟，效果與對水量影響如何？此類問題在作者思慮中，近十年經過不斷之實地試驗研究，總算獲得一個結論，出沙現象在理論上與實用上均為可防止之問題，只需應用合理之步驟，正確與仔細之沙樣分析與適當選擇濾水管與填充沙礫即可奏效，爰將數年研究結果，報告如下，尙幸海內外人士指正。

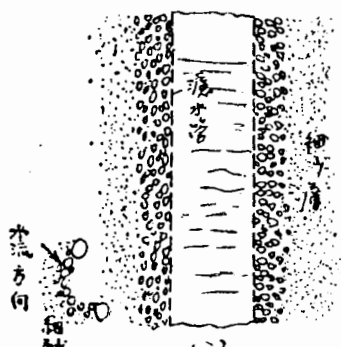
二、深井出沙之現象

深井出沙現象，即抽水機抽水時井周細沙隨水抽入井內，致出水呈混濁狀態，或作乳白色，或作深灰色，雖其輕重不一，其為害均大，爰將出沙情形分別輕重列舉實例如下：

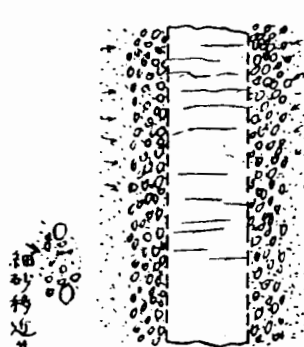
(1) 出沙最輕之井初抽水時，水色混濁含細沙粒約十餘分鐘之後逐漸澄清，待停止抽水時，水色又呈混濁如故，依然須時十餘分鐘而後清，此種現象可能由于鑽井時砂層深度不確，致濾水管放置位置不當，而其主要原因，在其井圈外圈所填礫石不當，孔隙過大，細砂能自由穿過礫石間隙，隨水入井，經十餘分鐘抽水，井管附近之細砂業已抽清，較遠之細砂，因流速較小，及水流方向不變，砂粒呈交架之作用而停止流入井內，故出水變清，待停止抽水時，水流方向變更，交架作用消失，較遠之細砂因重力作用，又逐漸移至井之附近，致再次抽水時又呈出沙現象。



(1) 抽水機開動時細砂隨水入井



(2) 開動十餘分鐘以後附近細砂抽完遠底細砂呈交架作用



(3) 停止抽水後遠底細砂因受重力作用移近井周圍

該隨水進入井內之細沙，在抽水機中研磨葉輪軸承等，轉動部份迅速耗損機件，又因其成份為片岩或沙岩，對抽水機之損害狀況輕重不一，白色砂質砂，硬度高，損害抽水機最烈，片岩沙及其他種砂則較次之，抽水機經磨損後，初則間隙擴大，抽水效率降低，繼則磨損過烈，轉軸折斷，不能轉動，直接增加深井與抽水機之修理與保養費用，間接則因零件之補充困難，抽水時間與抽水量減小，影響灌溉面積及產量，其損失難以數字計。

(2) 出沙較重者，最初抽水時水色黑，含中細砂，出砂時間恒半小時左右，以後亦因交架作用逐漸澄清，停抽時部份中細砂沉積井底，歷時日久，井內積砂日多，濾水管逐漸為中細砂所填塞，出水量顯著降低，終呈斷續狀態，造成上列現象之原因，除同前述濾水管放置位置與砂礫選擇不當二者之外，濾水管之孔隙選擇不當，或製造不良，致使中砂以上之砂，能透過濾水管流入井內，因而填塞井孔

，此時則必須將抽水機拆除，應用洗井機械，將井內積砂抽除至原來深度，並重復沖洗，填入適當大小礫石，此類中之抽水機，因砂粒粗，研磨零件之損壞程度較前述尤烈，洗井後同時需將抽水機磨損者換新，每次修洗費用常逾萬，費用浩大，直接與間接之損失，較前出沙輕者尤甚。

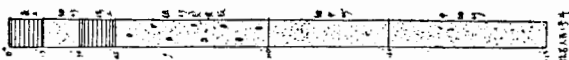
前述二類深井，由于構造不良，無法根本修正及防沙，僅能設法減低出砂量，減低之方法，一面填入較細砂礫，同時裝用活門控制出水量，初抽時使出水量減少，由于流速減小出砂較少，至水色澄清時再逐漸擴大，並約束抽水量，在可允許之範圍之內，方期能繼續使用。

上列二項出沙井，因無法根本防沙，但經常保養得宜，適當修理以後均尚能繼續抽水，雖其保養修理費用大，但由于出水量與灌溉面積俱大，尚具經濟價值，唯還本期間較久耳，屬於此類之深井舉例如下：

廠 別	農 場	井 號	出 沙 情 形	抽水機修理費用(四一年至四四年)
北 港	北 港	一 號	出沙五分鐘後清	19,463元
北 港	番 子 溝	三 號	出沙三分鐘後清	4,068元
北 港	四 湖	二 號	出沙十分鐘後清	8,757元
北 港	植 梧	三 號	出沙十分鐘後清	5,349元
旗 尾	彌 力 肚	一 號	出沙十分鐘後清	13,067.05元
大 林	大 湖	一 號	出沙五分鐘後清	2,087元
溪 湖	萬 興	二 號	出沙五分鐘後清	10,338.41元
溪 湖	尤 厝	二 號	出沙十分鐘後清	10,540元
溪 湖	二 林	一 號	出沙五分鐘後清	14,823元
斗 六	大 潭	一 號	出沙六十分鐘後清	5,910.54元

三、出沙過多地層下陷井管彎曲

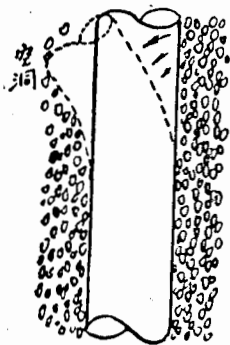
龍岩糖廠大有農場一號井完工于三十九年十月十八日，地層構造如下圖：



當時應用 0.008"×3" 開口之濾水管，放置自八〇呎至一六〇呎處，井管周圍放入 1/2" 至 1/4" 礫石約二三二立方呎，洗井月餘，靜水位六呎，抽水

位五十呎，出水量四〇〇 G. P. M.，水色混濁含砂多。四十二年二月五日，因出砂過多再度洗井，復抽出大量細砂，出水長期混濁加入大量砂礫，井管漸呈彎曲現象，當時曾裝配八吋深井抽水機，因井管彎曲之結果，抽水機軸承受力不均震動作聲，抽水機零件因出沙而迅速遭磨損。

四十一年十一月，抽水機件又拆開修理，因修理煩瑣，灌溉面積甚少，管理困難，至四十二年三月不得不將抽水機件全部拆除放棄使用，考其原因係濾水管位置不當，濾水管孔隙過大，砂礫選擇不



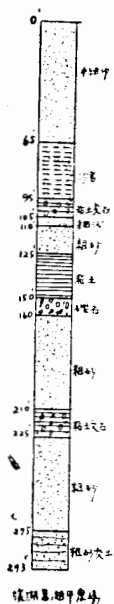
受壓力不均井管向空洞處傾側

當，致使大量細砂不斷流入井內，其流入現象，四周並不一致，填入之砂礫，亦難期四周平均，致使井管四周所受壓力不均而向空洞處所傾倒，呈彎曲狀態，此類深井往往無法校正，傾度較大者，唯有放棄使用。

四、出沙過多，水量微小，經數度清洗，費用浩繁而宣告放棄者。

溪湖糖廠舊趙甲農場，位於濁水溪之扇狀沖積地中央地帶，四十年二月二十日完成，深度二九三呎，其地層情形如下圖：

施工時該地層之砂樣均取自泥漿溝中，當時放入十六吋口徑井管與濾水管二九三呎，濾水管孔徑 0.08"，六〇呎至一〇〇呎，二五〇呎至二一〇呎



二三〇呎至二五〇呎處並填入 1/2" 至 1/4" 徑礫石達二一六立方呎，洗井完畢後抽水時水呈黑色，沙多水少不堪應用，四十一年五月抽水機件即告磨損震動作聲，經應用機車拆卸修理抽水機件一次，同年十月因細砂已將濾水管填塞，又拆除機件應用井機清洗一次，四十二年九月復因出砂過多，水色黑，水量僅二〇〇 G. P. M.，研究該地區其他各井均在八〇〇 G. P. M. 以上，建井時濾水管或未能放入正確位置，即在附近探小孔井乙口，以探井在優良水層處開孔，當時水量增至八〇〇 G. P. M.，由於開

孔大，不久中砂大量入井後套入十二吋及十吋管及濾水管，出水量又降至四〇〇 G. P. M.，四十三年水量又降至二〇〇 G. P. M.，連次修洗耗費過鉅，水量依然微小，無經濟價值，不得不宣告放棄使用。

其他因出沙過多水量微小而告放棄者如下表：

糖廠	農場	井號	沙層	濾水管位置	礫徑	出沙情形	水量	目前狀況
溪湖	舊趙甲	一號	粗中細沙	0.08" 60'~100' 150'~210' 230'~250'	1/2"~1/4"	黑色含中細沙	最大 400 G. P. M 逐漸減少	廢井
大林	大湖	二號	粗砂石、細沙	0.12" 170'~350'	1/2"~1/4"	黑色含細沙	最大 300 G. P. M 通常 200 G. P. M	廢井
東港	武邊	一號	粗細沙土	0.08" 307'~307'	1/2"~3/4"	黑色含細沙	75 G. P. M	廢井
東港	炭頂	二號	細沙貝殼	0.12" 175'~250' 265'~280'	1/2"~3/4"	黑色含細沙	最大 1000 G. P. M 日後逐漸減少與填塞	廢井

地下含水層之基本水理

地下水在含水層之流動現象曾經許多學者之實驗與研究發表之公式，理論及其優劣點無法在此詳論，但為便于了解深井防沙之理論依據起見，仍將其演變情形略述之。

法國水利工程師 HENRY DARCY 在一八五六年首先對流體在孔隙物質中流動現象加以研究而歸納公式如下

$$Q = KA \frac{h_1 - h_2}{L}$$

Q = 流量

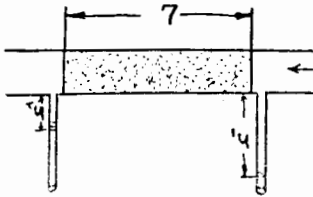
A = 通過孔隙物質之切面積

h₁ = 進口水頭

h₂ = 出口水頭

L = 通過孔隙物質之總長度

K = 係數



Slichter 先生將 K 定名為透水率，按公式

$$K = \frac{Q/H}{(h_1 - h_2)/l}$$

計算之，一八六三年 Dupuit 先生，首先將 Darcy's Law 引用于水井水理之分析，一九〇六年 Tbiem 先生將 Dupuit 先生之分析加以修正，並用二個以上之觀察井以決定透水率，發表公式如下：

$$Q = 2\pi pM(s_1 - s_2) \log c \frac{r_2}{r_1}$$

$$\text{或 } Q = 2\pi T(s_1 - s_2) \log e \frac{r_2}{r_1}$$

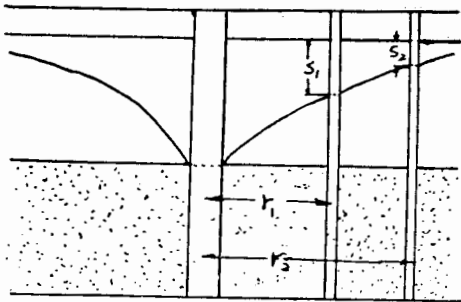
$$T = PM$$

式中 p 為透水率 M 為水層厚度

T 為傳水率 Q 為出水量

r_1, r_2 為二觀察井各距抽水井之距離

s_1, s_2 為觀察井之抽水水位降落



一九三五年 Theis 先生利用 導體傳熱與地下水流之相似現象，發表不平衡公式加以時間與蓄水係數，其公式如下

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_{r_2}^{\alpha} S/4 Tt \frac{e^{-u}}{u} du \quad u = \frac{1.87 r^2 s}{Tt}$$

其中 S = 蓄水係數

Q = 出水量

T = 傳水率

r = 井徑

t = 開始抽水後之時間 s = 水位降落

一九四六年 C. E. Jacob 又略去不平衡公式不重要部份為下式：

$$s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25 Tt}{Sr_2}$$

$$\text{或 } s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{t}{r^2} + c$$

$$\text{按 } s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25 Tt}{sr^2}$$

$$= \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{t}{r^2} + c$$

式中 s = 水位降落

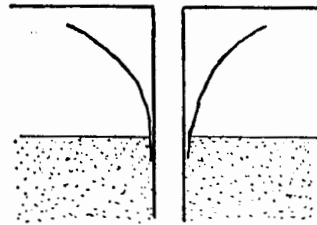
Q = 出水量

S = 蓄水係數

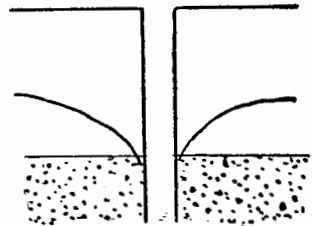
t = 開始抽水後時間

r = 井徑

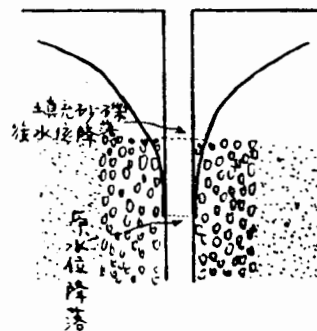
由此可知水位降與抽水量成正比與 透 水 率 及 $\log \frac{1}{r^2}$ 成反比。因此增加水量必需增加沙層之透水能力，在細沙地層水井周圍之水位降落坡度較大，砂愈細其坡度愈急，因此井附近之水位坡度減少，即可以明顯減小水位降落，減少水位坡度之方法，唯有擴大其透水性能，因此井附近填入透水率大之砂，可以減低水位降落即增加出水能力。



細砂層水位降落情形



粗砂水位降落情形



砂粒井圍效果

防止出沙井之建造成功實例

深井出沙之害處雖有輕重之不同，但為害于井之壽命及抽水機已如上述，因此井之清澄為建井極重要之條件，實用上任何細沙地層均可以建造成出沙之井，但是需要正確之沙樣，仔細分析計算慎重選擇適當之砂礫與進水管，茲為明瞭實際情形起見，將本隊在臺灣實施建造防沙井成功之實例略舉一二，然後詳細研究防沙井建造之理論與步驟。

三十九年台南農校為該校實習農場十餘甲缺水灌溉委託本處代建深井以為灌溉實驗用，查該地地層為二層行溪沖積平原，地下水層僅有細砂層，具有水量，十月二十五日開始施工至三十一日放管填入大量砂礫（ $1/2'' \sim 1/4''$ ）出水混濁含大量細砂，洗

井甚久均未見澄清。

該井因出沙情況嚴重機械耗損大，細砂不久即淤塞水源不能繼續利用，四十四年三月決定放棄原井重建新井，將沙層携回詳細分析，參考沙層之理論與原理，應用各種沙濾以作試驗並嚴格選擇濾水管，五月十三日完成實驗出水澄清無沙，是本隊防沙井第一次告成。

同年內先後在台南四分子與高雄鳳山厝二地建造深井各乙口，建造時亦經仔細取樣，詳細分析然後嚴格選取濾水管孔徑與砂礫以試驗均出水澄清，全無含砂現象，茲將防砂實驗之各井地層及砂樣分析如下表：

台南永康農校先後二井比較表

項 目	採水層	應用砂礫	濾水管	試水機械	靜止水位	抽水水位	洗井日數	水 量	水 質
第一次施工	40'~50'	1 1/2''~1/4''	1/32''	3''離心抽水機	3	30	30	40	混濁含細沙
第二欲施工	42'~52'	0.04''~0.72''	1/50''	''	3	28	5	50	澄清

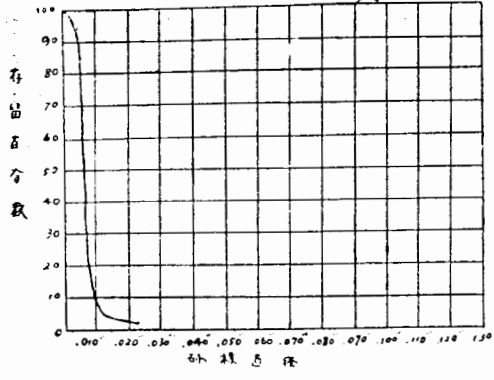
實驗各井之濾水管填充砂礫之選擇如下

地 點	採水層	砂樣有效直徑	均勻係數	填充砂礫透 水率倍數	填充砂礫 均勻數	水管孔隙
台南農校	42'~52'	0.0059''	1.4	50	1.8	1/50''
鳳山厝	70'~110'	0.0042''	1.38	50	1.8	''
四分子	65'~85'	0.0025''	2.3	50	1.8	''

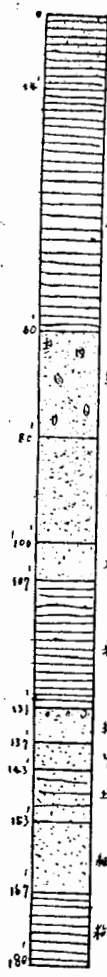
實驗各井之洗井試水紀錄如下

地 點	洗井日數	洗井方法	試水機械	靜水位	抽水水位	出水量	水 質
台南糖廠	5	抽泥桶	3''離心抽水機	3'	28'	50 G. P. M	澄清
鳳山厝	12	5吋抽泥桶	空氣壓縮機	33'	50'	70 G. P. M	''
四分子	14	抽泥桶	3''離心抽水機	0	27'	70 G. P. M	''

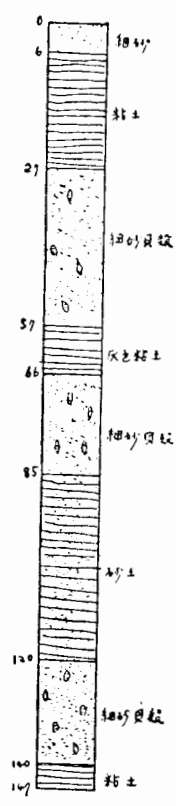
台南永康橋上農校井砂樣分析 砂量 36 ± 5.6%



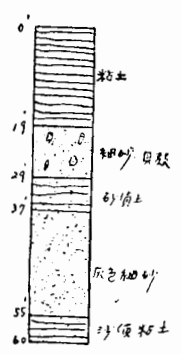
高雄鳳山厝井



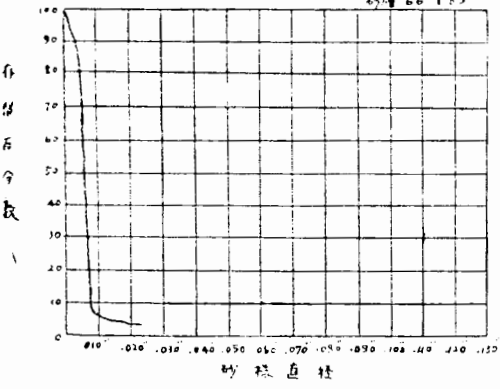
台南四分子井



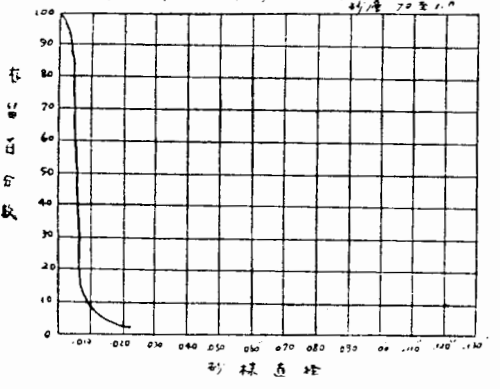
台南永康農校井



台南四分子井砂樣分析 砂量 66 ± 8.5%



高雄鳳山厝井砂樣分析 砂量 70 ± 1.0%



新 東 陽 營 造 廠

經 理 洪 清 常
 廠 址 台北市新生南路一段一五七巷二三號
 電 話 二九二六五號
 承 辦 土 木 建 築 水 利 工 程

防砂工作第一步，採取正確之砂樣

正確之沙樣為造井之重要根據，沙樣之深度與厚度，為決定濾水管長度之依據，其大小及成份為決定濾水管孔徑及應用砂層之依據，若尺寸不正確度則濾水管放置位置與砂層不符，為多數出沙與廢度之重要原因，沙層之含土量，鬆緊程度與砂礫之，小與孔度，透水性及出水量有直接關係，理想之井樣必需無混雜物，未受攪亂者，雖然如此之沙樣大甚難獲得，但必需盡量設法獲得較接近正確之沙樣以為建井之依據，避免可能之失敗。

因應用鑽具形式之不同採取沙樣方法與正確性亦異。

沖擊鑽之取樣工作，通常應用抽砂桶採取之，由于鑽打之沖擊與混合作用取樣大多細碎，若取用第一桶，再參以鑽具之反應，當可獲得比較接近之沙樣。

迴轉鑽之沙樣一般均取于泥漿溝中再加以洗滌，沙樣之深度則僅根據泥濁泵之抽水量，與井洞之大小，鑽管之尺寸以計算之，泥漿上升之時間，由于上升途中之混雜，致沙樣之品質與尺寸差異頗巨，甚至有差至三十尺以上者。

迴轉鑽之沙樣易趨于混雜，故在採樣前通常需將鑽頭懸空，令泥漿充分循環，致泥漿不再含有鑽屑時，再行放鑽管至井洞底割切地層在溝中截取土樣，泥漿上升所需之時間在用引擎為動力時，由于轉速之差異而發生時間之差異，校正之法，有以小量染料放入泥漿池，觀察其入井後至出井所需時間之半數以校正之，亦有應用其他顆粒物質以為校正之用者。



取樣之最為正確者為鑽岩心取法

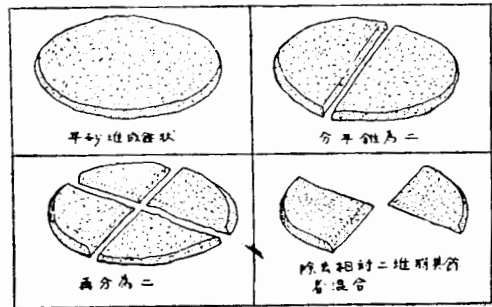
上法所得之岩心由于其未收細碎攪和等作用，最足以代表地層之情形，但每次使用必須將鑽管全部拆卸耗費時間及費用殊大，僅能在極重要時採用之。

最近有應用擊取岩心之方法，其工具構造如附圖，應用于迴轉鑽時僅須將鴨頭管拆開，將採樣器放入鑽管內至井洞底時，應用鉛桿之重量將之擊入

地層一呎，再用軋耳將其擊回拉出井外，將所得之岩心或砂樣置箱中供分析之用。此法所採之砂樣，由于未受攪亂之作用，故較溝內所採者為正確，較之岩心則較差，但因無須裝拆鑽管，費用頗為節省頗堪應用。本方法中記錄擊深一呎所須之時間，及每次擊入深度，繪製曲線，同時可為地層緊密度之計算，有助于出水量之估算。

防沙工作第二步分析砂樣

準備砂樣，砂樣經充分混合後應用「四分」方法以期篩用砂樣能包括全部砂樣之適當比例，其方法及附圖如下：



甲：傾充分混合之砂樣于平面上堆成圓錐形。

乙：平砂堆使分散成圓餅狀。

丙：分平堆為二。

丁：再分為四。

戊：除去相對二堆將其餘者混合，若沙樣仍嫌過多再以同樣方法分開之。

若沙樣潮濕以溫火烤乾，時加攪拌，注意砂樣是否為粘土膠結若有膠結現象，必須細碎。

篩、秤量

選擇四至六足以分開各級砂粒之篩，最粗篩必須通過百分之八十以上之砂粒，茲建議選篩法數種如下：

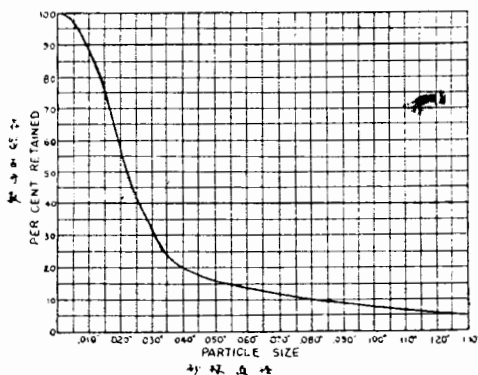
細	砂	樣
0.023"		(28 孔)
0.016"		(35 孔)
0.012"		(48 孔)
0.008"		(65 孔)
0.006"		(100孔)
	粗	砂
	0.046"	(14 孔)
	0.033"	(20 孔)

0.023"	(28 孔)
0.016"	(35 孔)
0.012"	(48 孔)
0.008"	(65 孔)
砂 樣	
0.131"	(6 孔)
0.093"	(8 孔)
0.065"	(10 孔)
0.046"	(14 孔)
0.033"	(20 孔)
0.023"	(28 孔)
0.016"	(35 孔)
0.012"	(48 孔)

篩按上大小次序排列，秤量乾樣記載其重量後，放入最上篩內振蕩約五分鐘後，頃存留最上篩內砂粒于天秤上，秤其重量記載後再將第二篩存留砂粒加入已秤量之盤內，記載其累積重量，如此繼續秤量至最底部盤內，所存砂樣一併檢查其重量與原重量之差異，其差異應在一克以下。

如何應用砂分析曲線

砂樣分拆後繪製成圖表示該砂層各種顆粒大小之分配情形，各篩存留量之百分數與該篩孔徑之大小相交互相連接成一曲線如下圖：



表上縱座標代表存留百分數，橫座標代表所用篩孔之直徑，其數值代表存留該篩之最小砂粒，由于砂粒之形狀不一，此種現象並非絕對正確，實用上常將篩孔之大小視關為砂粒之大小而繪製。

初看砂樣分析曲線大致可看出砂樣中某種大小之砂粒所佔百分數及比其較大或較小所佔之比例，例如上圖中可知砂樣中 90% 砂粒均大於 0.010 吋換言之，40% 之砂粒均大於 0.026 吋，百分之六十則小於 0.026 吋。

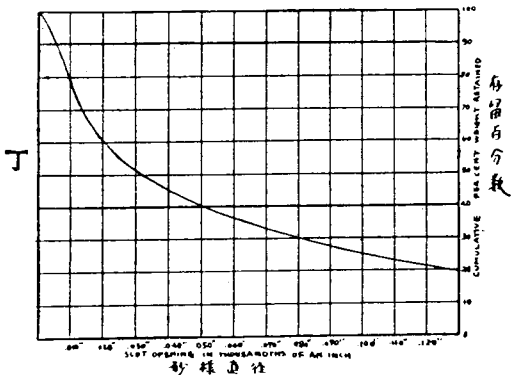
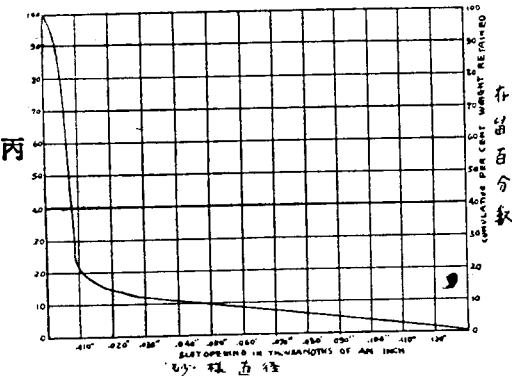
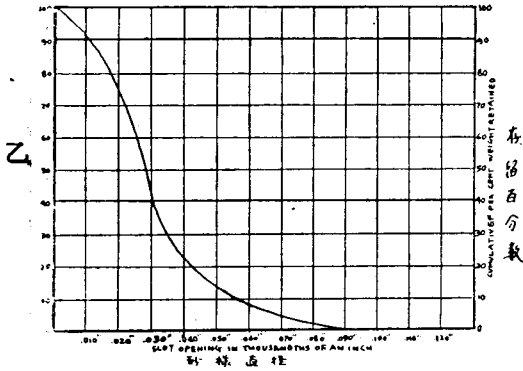
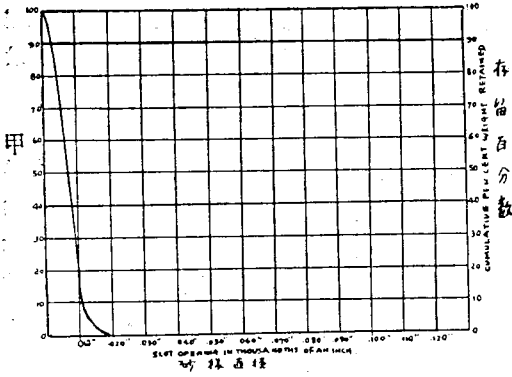
沙樣分析曲線，除用於水井工程上，同時並用於混凝土沙，模型沙及其他工程用沙顆粒之分級，各界工程師，應用各種方法繪製曲線。

有以通過量代替存留量者，如此繪成曲線左右相反，因之曲線自左而右上升以代替如上圖自左而右下降，沙粒大小，亦有應用對數規格者，如此將使較細部份拉長，而較粗部份縮短，仔細研究沖積地層之沙粒，其大小分配並非偶然之事，沙粒之分級均由一定之地質作用，因其顆粒大小有甚大範圍，在最大與最小顆粒之間，中間沙粒已有各種不同分配狀態，每一分配狀態代表一種型式之曲線，一之般言之沙粒之等級有三大要素，一、微細度，二、曲線坡度，三、曲線之型式，其中任何一項均可單獨改變，因此沙樣必須對此種同時加以考究，方可獲得一完全之觀念。

通常敘述沙粒之大小，應用細沙粗沙及礫等名詞，但吾人並未對各名詞予以殊特之範圍，因此同一砂粒各人所定之名詞則可能各殊。

為期各名詞有一特定之範圍，有數種不同之等級分類方法，已經採用，每種方法似乎對某種範圍內最為便利適用。美國麻省科學院之 MIT 分級法與土壤分析局為通常應用之二法，其中之一部如下表：

砂 別	砂 粒 之 大 小 範 圍	MIT 制 度	砂 糖 之 大 小 範 圍	土 壤 局 制 度
細 砂	0.08" 至 3/8"		0.04" 至 0.03"	
粗 砂	0.024" 至 0.08"		0.02" 至 0.04"	
中 砂	0.01" 至 0.024"		0.10" 至 0.020"	
細 砂	0.003" 至 0.01"		0.004 至 0.010"	
淤 泥 與 粘 土	0.003" 以下		0.002" 以下	



美國地質調查所曾應用土壤分析局制度有年，其中數量分配應用於水井工程似嫌過於狹小，MIT之制度似對大部分水層砂粒之等級較為適用，依照該制度茲以下列四曲線代表說明之：

- | | |
|------|-------|
| 甲類曲線 | 細砂 |
| 乙類曲線 | 細砂、粗砂 |
| 丙類曲線 | 粗砂 |
| 丁類曲線 | 砂與礫 |

此種分類可作為水井工程上之標準分類方法來敘述水層之砂與礫。

分析曲線之特定點，常用為細度之指數，用以研究砂礫之透水率或出水能力，與粗細程度之關係，有效直徑為其一例。

有效直徑之名係 Allen Hayen 氏于一八九八年研究濾砂而指定，指砂礫中百分之十較該直徑為小，九〇%則較該直徑為大，在曲線上即為百分之九十處之直徑，大小如圖甲曲線上其有效直徑為 $\bigcirc \cdot \bigcirc \bigcirc$ 三吋。

百分之五十處之直徑常視為細度之另一指數，圖甲中百分之五十處為 $\bigcirc \cdot \bigcirc \bigcirc$ 七吋，當砂礫之直徑相當均勻（即曲線之大部份之坡度大時）其百分之五十之直徑，即視為砂礫之平均直徑，但當曲線坡度甚平時，百分之五十直徑則不能視為砂礫之粗度或細度。

曲線之坡度與形狀

砂曲線坡度之大部份可以數種方形表示之「均勻係數」即為其中之一，該名詞係 Hayen 氏在研究砂礫時與有效直徑，同時定出，均勻係數，係百分之四十之直徑，除以百分之九十之直徑（有效直徑所得之商數）圖甲均勻係數即為 $\bigcirc \cdot \bigcirc \bigcirc$ 八除以 $\bigcirc \cdot \bigcirc \bigcirc$ 三等於二·六六，均勻係數為砂曲線上百分之九十與百分之四十間曲線坡度，數值愈小其間之砂愈均勻，大數值即表示砂非均勻。與有效直徑相似，均勻係數僅在砂較均勻時有實用價值，僅能在二·五以下時有用，均勻係數，在敘述填充用砂時極有價值，因為填充物必須用均勻砂礫。

分類係數 (Sorting Coefficient) 為表示砂曲線坡度之另一名詞，其數值為百分之二十五之直徑，除以百分之七十五直徑，二者之商再求其平方根，圖甲百分之二十五直徑為 $\bigcirc \cdot \bigcirc \bigcirc$ 九，百分之七十五直徑為 $\bigcirc \cdot \bigcirc \bigcirc$ 四 商為二·二五 平方根為一·五。

溪流沉積之大部份顆粒物之分析曲線大多呈 S

狀，圖甲與圖丙之曲線為標準 S 型，當其為砂礫混合時，線之形狀，即發生變化，圖丁為具有粗砂尾部之曲線，S 型曲線通常具較大透水性。

目前仍無任何方法可自砂樣曲線以定透水率，甚多研究工作，曾經嘗試過以求出砂礫大小，成份，與透水率之簡單相關，但至今仍無何發現，但經驗上若對上列諸因子加以仔細研究，則不能估算其相對之透水能力。

防砂工作第三步 填充砂礫大小之選擇

選擇適當填充用之砂礫。砂礫曲線之主要用途

，在作為填充砂礫之依據，填充物必須足以造成濾過層，防止細砂繼續流入井內，但同時必須具有最大透水率與孔度。

透水率比

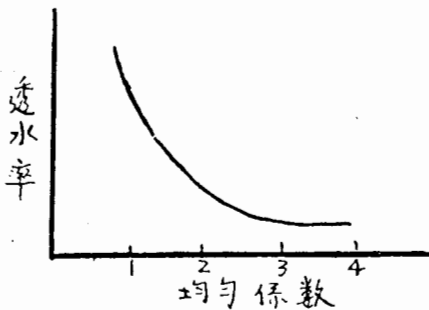
填充砂礫之透水率，必須較地層之透水能力為大，為顯然之事實，理論上若應用砂礫之透水能力較砂層者大于二十倍時，水流在填充砂礫內之阻力可視為極為微小，通常則應用五十倍透水性之砂礫。應用較為均勻之砂礫，可獲得較大之透水能力，各種砂粒之透水率如下表：

直徑 mm	孔 隙 率						土 之 種 類
	30%	32%	34%	36%	38%	40%	
0.01	0.000033	0.000040	0.000050	0.000060	0.000072	0.000085	淤泥
0.02	0.000131	0.000162	0.000198	0.000239	0.000286	0.000339	
0.03	0.000296	0.000364	0.000446	0.000538	0.000645	0.000763	
0.04	0.000527	0.000648	0.000794	0.000958	0.001145	0.001355	
0.05	0.000822	0.001020	0.001242	0.001495	0.001790	0.002120	
0.06	0.001182	0.001458	0.001784	0.002150	0.002580	0.003050	極細砂
0.07	0.001610	0.001983	0.002430	0.002930	0.003510	0.004155	
0.08	0.002105	0.002590	0.003175	0.003825	0.004585	0.005425	
0.09	0.002660	0.003280	0.004018	0.004845	0.005800	0.006860	
0.10	0.003282	0.004050	0.004960	0.005980	0.007170	0.008480	
0.12	0.004725	0.005830	0.007130	0.008620	0.01032	0.01220	細砂
0.14	0.006430	0.007940	0.009720	0.01172	0.01404	0.01662	
0.16	0.008410	0.01036	0.01268	0.01531	0.01835	0.02170	
0.18	0.01064	0.01311	0.01605	0.01940	0.02320	0.02745	
0.20	0.01315	0.01620	0.01983	0.02390	0.02868	0.03390	
0.25	0.02050	0.02530	0.03100	0.03740	0.04480	0.05300	中砂
0.30	0.02960	0.03640	0.04460	0.05380	0.06450	0.07630	
0.35	0.04025	0.04960	0.06075	0.07330	0.08790	0.1039	
0.40	0.05270	0.06480	0.07940	0.09575	0.1145	0.1355	
0.45	0.06560	0.08200	0.1005	0.1211	0.1450	0.1718	
0.50	0.08220	0.1012	0.1240	0.1495	0.1780	0.2120	粗砂
0.55	0.09940	0.1225	0.1500	0.1810	0.2165	0.2565	
0.60	0.1182	0.1458	0.1784	0.2150	0.2580	0.3050	
0.65	0.1390	0.1710	0.2095	0.2530	0.3030	0.3580	
0.70	0.1610	0.1983	0.2430	0.2930	0.3510	0.4155	
0.75	0.1850	0.2278	0.2785	0.3365	0.4030	0.4770	
0.80	0.2105	0.2590	0.3175	0.3825	0.4585	0.5425	
0.85	0.2375	0.2925	0.3580	0.4325	0.5175	0.6125	
0.90	0.2660	0.3280	0.4018	0.4845	0.5800	0.6860	
0.95	0.2960	0.3650	0.4470	0.5400	0.6460	0.7650	

通常建井者，過份重視砂礫之透水能力，應用較之粗砂礫，而忽視砂礫之防砂性，彼等以為繼續增加井之砂礫圈，理論上砂礫圈繼續擴大，細砂距井愈遠，流速愈小，含砂量終可降至極小，事實上孔隙大之礫，細砂由于重力作用，沿砂礫外圈而下降，流入井管附近，因此堵塞砂礫孔隙，減低出水能力，該細砂粒隨水抽入井內，即成出砂井，實用上三十倍至五十倍透水率之砂礫為最合理之填用砂礫標準。

填充砂礫之均勻係數之決定

砂礫之均勻係數對於透水率之比，可自下列關係圖中瞭解之，均勻一致之砂，其透水率極大，但不能成為適當之過濾層，均勻係數大于二·五之砂，其透水率趨于平衡，商業上過濾砂之均勻係數約為一·六五，填充砂礫之均勻係數經實驗之結果，必須在二·五以下，以一·七左右為宜，其關係如附圖：



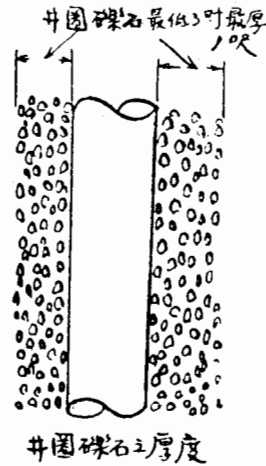
填充砂礫究竟需要多少厚度

砂礫填充之用途，在增加井之有效直徑，並防止細砂流入井內，約十五年前，美國加州大學礦冶系K. E. Hill 先生研究填砂礫 $\frac{1}{2}$ " 在井之周圍，即足敷防砂，此種厚度之直徑小于 $\frac{1}{8}$ " 之砂礫，其有效控制砂層可達一甚大之流量。

HILL 先生之研究證明一薄層適當大小之砂礫，即足以阻止細砂流入井內，顯然建井工程上均勻填充 $\frac{1}{2}$ " 之砂礫，為不切實際之事，可是由此可證明在防止出砂工作上砂礫之填充，只須在實際所能達到之薄層即可，但出水量因透水率大之砂礫面積而增加，故在施工可能範圍之內，仍應增加厚度，即井孔應儘量擴大，方期獲得最大水量，其可適當填充者三吋厚則為通常建井時最低之厚度，直徑三呎左右之井徑與一呎厚之砂礫填充亦為深井建造上常見。

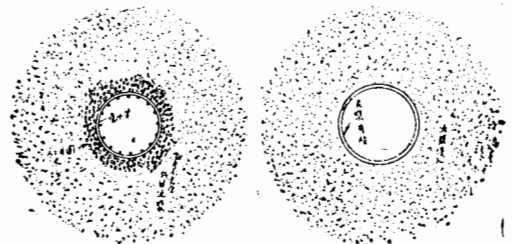
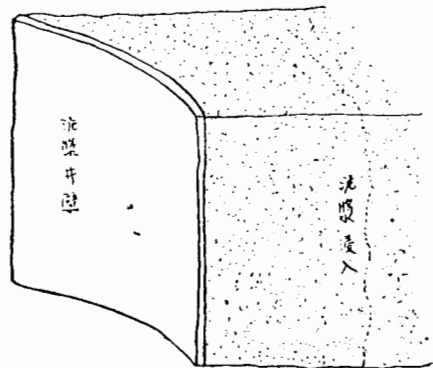
適當均勻係數與適當大小之砂礫之厚度最低約

三吋，最高約一呎，若應用十二吋濾水管則井洞口徑必須十八吋至二十六吋，十六吋之濾水管約需二十二吋至四十吋之井洞。



填充砂礫與洗井問題

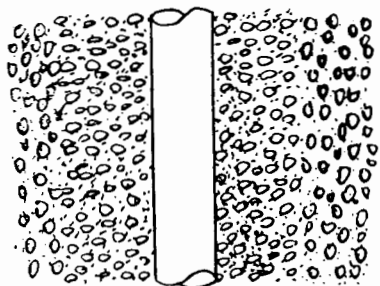
在選擇砂礫之厚度與井之口徑上洗井亦為主要之決定因子：當砂礫充于井管外後，井洞所糊泥屑存在于砂與礫之間，此項泥屑必須完全洗去方可期獲得最大水量，砂礫填充愈厚，則井孔之口徑需大，泥屑沖洗工作愈為困難，斬井洗井所費時間與經費亦較大，薄砂層則可迅速沖洗完成，費用較小，建井時必詳細研究其經濟價值，井機性能及需要情形然後決定。



防砂工作之第四步

選擇適當孔徑與長度之濾水管

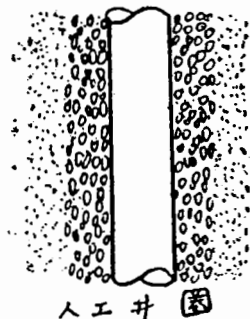
若地層中含有數層不同之大小砂礫，可用自然砂礫處理，選擇之孔徑在百分之三十至四十，理論上百分之七十之砂可以沖洗入井內，但由於交架作用，通常不至於此數沖洗之作用在使砂礫成天然之過濾層排列，最大者分佈在井周圍，砂愈小距井愈遠（如左圖）選擇水管必須極為注意，細砂層位於粗砂層之上時，則需應用較長合於細砂之濾水管，粗砂層之孔徑選擇應較保守，以免細砂沿較大之孔徑流入井內。



砂礫井圈之濾水管之選擇

應用人工砂礫井圈以造井時，填充砂礫之有效直徑與均勻係數決定之後，濾水管之孔隙經實驗之結果，以填充砂礫之有效直徑大小為宜，理論上有百分之十之填充砂礫可以通過孔隙，但由於洗井之

結果，砂礫在井外排列成人工之過濾層，故進入井內之砂礫甚少而細，原地層中之細砂則因不斷抽洗已距井甚遠，故雖抽水甚大亦無出砂之慮，充分沖洗完畢，填充砂礫在井外造成人工之過濾層，大砂礫排于井之周圍，距井愈遠，砂礫愈小，地層細砂則排于人工井圈以外，如上圖：



人工井圈

結 論

過去數年來對於濾水管之觀念有明顯之改變，以前認為濾水管之作用在防進砂，近數年來實驗之結果，認為濾水管之作用係支持井洞，洞外附近細砂均宜抽入井內，抽除之以造成人工或自然之過濾層，是名謂人工或自然之砂礫處理。

出水長期含砂是造成深井及機械故障之主要原因，不唯磨損機件增加費用且影響使用，減低效用，損失殊大，實驗上證明，無論水層如何惡劣，砂粒如何微細，仍可造成出水澄清之井並獲得最大出水量，關於砂樣之如何採取與分析？填充砂礫與濾水管之選擇標準如何！謹將實驗所得提供海內外人參考及指正。

參 考 文 獻

- Bennison' E. W. (1947) Ground water its development, uses, and Conservation:
Meiner O. E. (1923) The Occurance of Groundwater in ihe united States
Twenhoffel W. H. (1932) Treaties on sedimentation
Parker D. Trask. Applied Sedimentation
Co Wisler Hydrology.
Slichler, C. S. Field Measurement of rate of Movement of Ground Water
Jacob. C. E. The flow of Water in an Elastic artisian Aguifer
L. W. Lehoy. Subsurface_Geologic method.
Thomas. Conservation of Ground water
L. K. Wenzel: Methods for deterning Permealility of Water bearing meterial
C. F. Tolman. Ground Water
Turneure and Russell Public Water Supply