

臺灣水利

地下水與鑿井

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
中華民國十六年六月一日

臺灣水利

地下水與鑿井

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
中華民國六十年六月一日

地下水與鑿井專輯

第一篇 概 論

題 目	著 述 人	卷 期	年 月 日	頁
1. 臺灣地下水問題之初步檢討	張建勛	3 1	44 3 1	1
2. 地下水庫出水量之基本理論及概念	李似椿譯	3 1	44 3 1	12
3. 論水井之影響圈	過立先	3 1	44 3 1	16
4. 水井井孔管之效能	許明與譯	3 1	44 3 1	22
5. 地下水語錄	陳克誠	3 1	44 3 1	33
6. 臺糖農業工程處深井工程隊簡介	臺糖公司	3 1	44 3 1	39
7. 影響水井出水量之因素	王振德譯	6 4	47 12 1	41
8. 臺灣地下水之面面觀	洪 雯	7 2	48 6 1	46
9. 地下河川	洪 雯	8 3	49 9 1	54
10. 水層性能曲線圖之應用	李似椿	11 4	52 12 1	59

第二篇 地下水資源開發與利用

11. 臺灣地下水的開發利用問題	張建勛	1 1	42 6 6	67
12. 開發臺灣地下水之途徑	江 鴻	3 1	44 3 1	84
13. 臺灣地下水之分佈及其開發利用	江 鴻	3 1	44 3 1	85
14. 臺灣之地質與地下水資源	何春蓀	3 1	44 3 1	93
15. 臺灣有驚人的地下水等待着我們去開發	江 鴻	4 3	45 9 1	105
16. 臺灣河川伏流水之利用	趙中倫	4 3	45 9 1	107
17. 地下水資源	王孔德	6 4	47 12 1	110
18. 臺灣地下水資源之開發	薛履坦	7 1	48 3 1	118
19. 伏流水源之開發方法	紀經緯	7 2	48 6 1	132
20. 區域性之地下水開發	王孔德	9 2	50 6 1	135
21. 亞洲及遠東各國之地下水開發	薛履坦	9 3	50 9 1	144
22. 花東縱谷地下水開發之展望	洪 雯	9 4	50 12 1	152
23. 泛論地下水開發	孫仁俊	11 2	52 6 1	159

第三篇 地下水測探

24. 測定含水層滲流係數之理論與應用	孫仁俊	3 1	44 3 1	166
25. 地下水之電探法	王孔德	3 1	44 3 1	180
26. 臺南市郊淺井橫管集水工程初步試驗報告	金城	3 1	44 3 1	184
27. 地層電測法原理及應用	李似椿	3 3	44 9 1	191
28. 以圖解求滲透係數近似值之方法	賴經都譯	3 3	44 9 1	201
29. 地下水面圖的繪製、判讀及其應用	郭維勝	5 3	46 9 1	203
30. 地下水層透水性能之測定	王孔德	6 2	47 6 1	210
31. 地下水及地下水量之測定	洪 雯	6 4	47 12 1	226

32. 回歸水之計算和運用.....	駱安華	8	2	49	6	1	...	230
33. 雲林地區深井電測記錄.....	詹紳源	10	3	51	9	1	...	240
34. 地下水湧水量之計算步驟及圖解法.....	李清白	11	1	52	3	1	...	246

第四篇 鑿井之事與理論研究

35. 美國水井鑽鑿方法簡介.....	王孔德	3	1	44	3	1	...	257
36. 深井之影響問題與井間距離之決定方法.....	王孔德	6	3	47	9	1	...	260
37. 美國鑿井工業之發展.....	薛履坦	7	3	48	9	1	...	272
38. 灌溉水井之磚石圈與井孔管.....	薛履坦	7	4	48	12	1	...	276
39. 地下水與各項工程間之關係.....	孫仁俊	8	1	49	3	1	...	286
40. 深井之水源與區域性地下水之開發.....	王孔德	11	4	52	12	1	...	289
41. 介紹井管出水量簡易計算法.....	盧欽城	11	4	52	12	1	...	300
42. 談水井設計問題.....	李似椿	12	2	53	6	1	...	305
43. 論大口徑水井之電器檢查.....	郭鐘樑	12	2	53	6	1	...	311
44. 深井水力學之一般要點.....	朱文仙	13	3	54	9	1	...	316
45. 建井方法.....	李似椿	13	4	54	12	1	...	320
46. 水井的電氣檢層法.....	詹紳源	14	2	55	6	1	...	327

第五篇 抽水工程試驗與規劃設計

47. 論抽水試驗資料分析之方法.....	李似椿	11	2	52	6	1	...	334
48. 抽水工程之規劃及設計(一).....	李金道	15	2	56	6	1	...	344
49. 抽水工程之規劃及設計(一續).....	李金道	15	3	56	9	1	...	358
50. 抽水工程之規劃及設計(續完).....	李金道	15	4	56	12	1	...	372

第六篇 水利法與地下水權以及水井與抽水機之修護

51. 中央水利法修正與臺灣地下水開發.....	章光彩	3	1	44	3	1	...	392
52. 地下水水權之商榷.....	朱益	3	1	44	3	1	...	394
53. 深井用透平式抽水機之使用與保養.....	藍章華	3	1	44	3	1	...	397
54. 臺灣省地下水開發利用實施辦法草案試擬.....	章光彩	3	1	44	3	1	...	408
55. 水井之保養與修復.....	李似椿	12	3	53	9	1	...	411

臺灣地下水問題的初步檢討

張 建 勳

緣 起

「臺灣水利」創刊號所載「臺灣水利局四十二年春季測繪業務簡報」內有關於臺灣地下水調查研究及利用的一項，這是安全分署於四十一年聘請雅各先生 (Mr. Jacob) 來臺調查地下水所提出的建議。生管會根據他的建議於本年一月三十一日召集會議討論這項問題，並於二月二十三日由水利局召開地下水小組會議，議決地下水小組之工作範圍，及請水利局擬訂地下水測勘計劃。由於偶然的巧合，筆者也在創刊號提出了關於地下水的幾點意見。至今事隔數月，雖未知生管會的五項議決案是否已付諸實施，或水利局的勘測計劃是否已經開始，而個人則對這個地下水問題，引起多少興趣。因此在四十二年暑期，曾作十天的實地考察，和收集了一些資料，經整理並詳細閱讀之後，擬把個人的觀感，在原則上作一個簡略的檢討。這篇報導並不涉及生管會或是水利局的研究計劃。筆者雖切望臺灣地下水的研究能漸趨具體，但目前個人對此問題的評論則完全是站在客觀的立場。

四十二年暑期的考察，全得臺糖公司農業工程處的協助，特別是深井工程處梁藝明、王天民諸先生，農工處的過立先、趙中倫、許明興等諸先生之助，得以看到很多的資料，和在屏東區一部份的深井作水位、流量及電力消耗等實地觀測，為此筆者謹表謝意。

臺灣地下水調整研究的經過

臺灣地下水的利用，雖然始於光復之前，但日據時代似乎未曾考慮到整個問題或擬有任何開發的計劃，因此雖開了不少的井，但關於井的記錄則無從搜集。我們假定臺灣地下水的研究，從有系統有計劃的工作開始。筆者認為這個開端是三十八年由莊士頓鑿井公司聘請來臺的嘉納先生 (Mr. Gardner) 和斯東納先生 (Mr. Stoner) 所作的察勘。在他們的報告內，姑勿論有百分之若干是生意經，但總算考慮到開發地下水所應考慮的一切問題。其

後安全總署的雅各先生來臺數月，曾在臺糖的百餘深井作過一次抽水降落的復原試驗，目的是求各井水層的導水率 (Transmissivity)，並從而研究其流量和水井干擾的問題。雅各先生是一個地質學家，對於地下水問題有卓越的見解。他在臺的工作似乎側重於研究多於來協助解決一項現實問題。這樣一個研究倘若繼起無人，雅各先生在臺數月的工作也恐隨他之離此而告一段落。他離臺前曾向生管會提出九點建議，這些建議很理想，很詳盡，但是衡量我們目前的環境却很難見諸實行。外國專家常犯的毛病就是把他們在本國所得的經驗，叫我們依樣葫蘆。雖難怪他們如此，我們的諱疾忌醫自有難言之隱，但因此那些外來專家也就不能得到完整無缺的報導。就算我們能在雅各先生所提九點意見之外再加九點或十八點，若我們曾經考慮開發臺灣地下水實際上的困難，其最難解決的還不是技術上的問題。我們對臺灣地下水的情形，雖然所知有限但絕非茫無所知，事實上我們也曾完成了一個鑿井計劃。雅各先生的意見其實是主張研究工作與鑿井計劃相輔而行，我們若能就目前已完成的井加強其觀測工作，已屬不易，要單獨成立一個機構來研究地下水，恐怕很難有此可能。

臺糖公司的深井有些發生了影響民井的問題，水利局郭維勝先生曾作過一次實地調查，這是很有意義的工作，可惜未能藉機推廣作一般性的研究。以上所列舉以往的深井調查與研究，皆是有系統有目標的工作，而且各專家曾得各方供應一切有關資料，目前我們所能知道關於臺灣地下井的情形，恐怕大致上也不外如是。歸納起來，斯東納和嘉納的調查在臺糖開井之前，雅各和郭維勝二位所作的研究則在深井完成之後，加上臺糖公司所保存深井使用期間的資料和他們所遭遇的困難，可使對於臺灣地下水的情形，勉強可以看得出一點端倪來。

筆者暑期調查所看到的資料，包括深井的鑿井記錄，深井使用的報表，和一部份深井的實地觀測。由於臺糖公司的井事實上分佈於下淡水的沖積地的屏東區，和濁水溪沖積地的虎尾區，除此之外既

臺糖公司深井概況表

廠別	農場名稱及號數	井號	井徑 (吋)	井管直徑 (吋)	井管深度 (呎)	井管深度 (呎)	抽水水位 (呎)	靜止水位 (呎)	落水 (呎)	完工時抽水 量 G.P.M.	現在抽水 量 G.P.M.	每呎降落 抽水 量 G.P.M.	水量增減原因
虎	馬公盾 1	1	22	16	356	356	12	1	11	1000	1300	118.0	降落減少
		2	22	16	400	400	40	9	31	900	1000	032.2	
		3	22	16	324	324	18	5	13	1000	1000	077.0	
		4	22	14	355	344	16	4	12	1300	1000	083.4	降落增加
		5	22	14	290	290	15	0	15	1200	1200	080.0	
		6	22	14	310	310	18	7	11	1100	1300	118.0	
尾	竹園子 3	1	22	16	158	150	15	1	14	1200	1000	071.4	降落增加
	石榴班 4	1	14	14	120	120	20	8	12	1200	1000	083.4	"
	大北勢 5	1	22	16	344	344	12	1	11	950	1400	127.0	降落減少
		2	22	16	298	295	25	1	24	1840	1000	041.7	降落增加
斗	大潭	1	22-17	16-10	410	389	51	9	42	800	800	019.0	
		1	23	16	356	290	56	40	16	170	300	018.8	
	茄冬脚 22	1	14	14-12	245	245	75	55	20	550	550	047.5	
	埤子頭 23	1	22	16	350	145	70	0	70	700	450	006.4	降落增加
	溝子壩 24	1	14	14	230	210	64	58	6	1100	900	150.0	
	溝子 25	1	14	14	185	160	65	55	10	1100	1000	100.0	
		2	16	16-12	285	200	65	59	6	850	700	117.0	
	麻園 26	1	16	16-12	285	200	65	59	6	850	700	117.0	

六	坎 脚 27	2	14	14	100	100	61	56	5	1100	900	180.0	
		1	14	14	240	220	62	58	4	1100	900	255.0	
		2	14	14	170	160	86	73	13	950	500	038.5	
		3	14	14	190	174	89	82	7	750	300	042.8	降落增加
龍	龍 巖 6	1	22	16-12	325	328	25	1	24	1360	1000	041.7	
		2	22	16	311	311	28	7	21	1000	750	035.7	
	貓 兒 干 7	1	22	14	311	265	15	1	14	1350	1250	089.3	
		2	22	14	300	300	16	1	15	1350	1200	080.0	
巖	大 有 8	1	22	16	225	225	30	5	25	410	400	016.0	
		2	22	16	267	267	58	7	51	800	800	015.7	
		3	22	16	421	421	50	6	44	600	900	020.4	
		4	22	14	305	303	22	5	17	1200	1100	064.8	
北	同 安 厝 9	1	22	16	290	290	33	0	33	500	450	013.6	
		3	22	16-12	305	306	30	8	22	600	600	027.3	
		1	22	16	401	388	25	7	18	700	900	050.0	
		3	22	16-14	400	365	20	7	13	1200	1300	100.0	
北	北 港 10	2	22	14	420	395	15	3	12	1400	1400	117.0	
	番 子 溝 11	3	22	16	441	441	25	10	15	1300	1000	066.6	降落增加
		4	22	16	290	290	21	5	16	1400	1000	062.5	"
		1	22	16-12	420	365	20	5	15	1400	1000	066.6	"

四 湖	2	22	14	395	390	34	11	23	800	800	034.8	
	3	22	16	353	353	25	6	19	1500	1000	052.7	降落增加
	4	22	16-12	340	340	20	4	16	1480	1000	062.5	"
	2	22	16	322	322	22	7	15	1000	1000	066.6	
下 寮	4	22	16-12	310	280	25	8	17	800	900	053.0	
	1	22	16-12	290	290	25	6	19	500	600	031.6	
蔡 厝 厝	2	22	16-12	312	312	30	6	24	160	600	025.0	降落减少
	3	22	16-12	335	335	39	6	33	400	600	018.2	"
	4	22	16-12	312	311	25	8	17	1100	1000	058.8	
	1	22	16	377	374	30	6	24	750	800	033.3	
植 梧	3	22	16-12	595	333	29	5	24	600	500	020.8	
	4	22	16-12	310	300	32	5	27	500	600	022.2	
	1	22	16	185	185	22	9	13	600	600	046.2	
	2	22	16	350	350	72	20	52	300	300	005.8	
大 湖	1	22	16	345	329	10	5	5	1100	1400	280.0	
	2	22	16	283	280	19	5	14	1370	1400	100.0	
	3	22	14	240	240	15	3	12	1500	1200	100.0	降落增加
	4	22	14	290	290	15	3	12	1300	1300	108.0	
虎尾甘蔗放良場	1	22	16	140	140	15	9	6	1200	1100	183.0	
	2	22	16	280	195	19	11	8	1100	1100	138.0	
溪 州	1	22	16	140	140	15	9	6	1200	1100	183.0	
	2	22	16	280	195	19	11	8	1100	1100	138.0	

港

大 林

溪	永 安 174	1	22	16	313	313	15	1	14	850	800	057.0	
	尤 厝 175	1	22	16	353	230	23	5	18	300	600	033.3	降落減少
		2	22	16	465	300	16	4	12	800	1400	117.0	"
	中 西	1	22	16	267	267	12	3	9	600	700	077.8	
州	二 林 177	1	22	16	360	360	22	5	17	1000	950	055.8	
		2	22	16	310	310	20	4	16	600	700	043.7	
	萬 合 156	1	22	16	300	256	8	0	8	1000	900	112.0	
溪	萬 興 157	1	22	16	353	290	19	5	14	1000	950	067.8	
	後 寮 160	1	22	16	290	290	30	1	29	500	500	017.2	
湖	舊 趙 甲 171	1	22	16	293	293	70	10	60	200	150	002.5	
	馬 欄 後 146	1	22-12½	16-12	600	320	60	12	48	580	400	008.3	
蒜		2	15	15-B	520	520	44	0	44	1000	900	020.4	
	太 保	1	22	16-10	609	406	60	9	51	350	350	006.9	
頭	彭 厝 73	1	14	14	104	104	18	9	9	1200	1400	156.0	降落減少
		2	14	14	120	120	18	8	10	1100	1300	130.0	"
屏	崇 蘭 74	1	22	16	205	200	44	22	22	1200	1200	054.5	
	萬 丹 75	1	22	14	424	380	39	5	34	1200	1000	029.3	
	甘 棠 門 76	1	26	16	311	280	30	0	30	800	1000	033.3	降落減少
		1	14	14	160	160	34	26	8	800	1200	150.0	"
		2	22	16	483	483	35	29	6	1000	1200	200.0	"

海 豐 77	3	14	14	14	190	185	32	17	15	1100	1200	080.0	
	4	14	14	14	145	145	34	29	5	1200	1300	260.0	
	5	14	14	14	162	162	35	22	13	1100	1300	100.0	
	1	14	14	14	250	250	89	37	52	550	300	005.8	降落增加
	2	14	14	14	122	120		38	20	1100	1100	005.0	
萬 隆 81	3	14	14	14	163	163	62	57	5	970	950	190.0	
	4	14	14	14	128	128	83	79	4	520	500	125.0	
	5	14	14	14	158	158	75	72	3	850	800	267.0	
	7	14	14	14	188	188	91	90	1	660	300	300.0	降落增加
	8	14	14	14-10	197	197	103	101	2	1100	900	450.0	
	9	14	14	14	164	164	72	70	2	855	700	350.0	
	10	14	14	14	196	194	67	65	2	860	650	325.0	
	11	14	14	14	168	168	53	52	1	960	1000	1,000.0	
	12	14	14	14	160	147	43	37	6	950	900	150.0	
	14	14	14	14	226	220	78	75	3	570	400	133.0	
東	甘蔗試驗屏東分所												
	1	22	16	16	416	449	20	9	11	1500	1000	091.0	
	1	22	16	16	230	186	50	25	25	1170	900	036.0	降落增加
東	構 內 82												
	2	26	26	26	330	240	12	6	6	850	900	150.0	
	1	22	16-12	16-12	375	320	25	13	12	1200	800	066.6	降落增加
後 壁 厝 85	1	22	16	16	207	185	32	7	25	900	300	012.0	"

港	後廊 86	2	26	16	140	140	28	15	13	100	1300	100.0	降落減少
		1	26	16-12	249	249	29	8	21	1100	1200	057.2	"
		2	17	12	470	470	40	0	40	600	1400	035.0	"
		1	26	16-12	248	248	26	6	20	1470	1300	065.0	
	打鐵 88	3	22	16-12	250	240	26	6	20	1300	1100	055.0	
		4	22	16-12	400	120	27	6	21	1300	1200	057.2	
		2	16	16	191	94	111	106	5	1100	750	150.0	降落增加
	大橋營 89	3	14	14	205	205	×	125	×	1100	未能利用		
		4	16	16	159	159	74	73	1	1200	900	900.0	降落增加
		5	14	14	196	196	48	45	3	800	500	166.0	"
6		16	16	110	110	72	70	2	750	400	200.0	"	
7		14	14	150	150	48	45	3	800	500	166.0	"	
8		14	14	140	140	×	140	×	760	未能利用			
旗	手巾寮 118	1	22	16	240	232	×	×	自流	1100	1000		
		2	14	14	240	130	18	9	9	1370	1300	144.0	
尾	彌力肚 119	1	22	16	177	177	48	24	24	950	1000	041.7	
		2	22	16	140	140	21	14	7	1470	1300	186.0	
	五明 120	1	22	16	183	177	35	18	17	1170	1000	058.8	
		1	14	14	96	94	25	7	18	1000	1200	066.8	
	圓潭子 12	2	14	14	96	93	30	12	18	1300	1300	072.2	
		灌漑深井總數 117口 出水量總計 183,800 G.P.M.											

沒有其他深井資料可供收集，因此只可把臺糖深井的平均狀態看作目前此兩區內地下水的一般情形。倘若我們打算在臺灣推行一個鑿井計劃，決策當局最好能就現實環境先決策一下，然後再開座談會可也。

目前深井的情形

臺糖公司目前在屏東和虎尾一帶共有深井 117 口，分佈於公司所屬各廠的農場。此外雖還有許多民井，但完全沒有任何記錄。臺糖的井完成於三十九年秋季至四十年春季，在四十二年四月曾作一次深井概況調查。下表就是這次調查的節錄，足以表示目前這兩地區內地下水的一般情形。

從上表可以看到比較顯著之點，如屏東區萬隆和大鵝營的井，靜止水位較低而抽水降落亦少，北港虎尾一帶的井，靜止井位高而抽水降落較大。其餘的井則介乎此兩者之間而偶亦有特殊的情形。從井的位置來看則萬隆和大鵝營在沖積扇的上游，接近山邊，地勢較高，而虎尾北港則在沖積扇下游的平原。雖然兩者並非屬於同一沖積地區，但亦可想像到地下水位的坡線會比地面坡度較緩，特別顯著於接近山邊的地帶。萬隆和大鵝營的井，顯然有導水率較佳的水層，適用水頭高而水位變遷少的封閉式或半封閉式抽水機。反之在北港虎尾一帶則適用水位變遷大而能保持較均衡流量的軸流式抽水機。我們若比對各井的所在地地形和在沖積扇內的位置，則大致可知道一點附近地區的地下水情形。

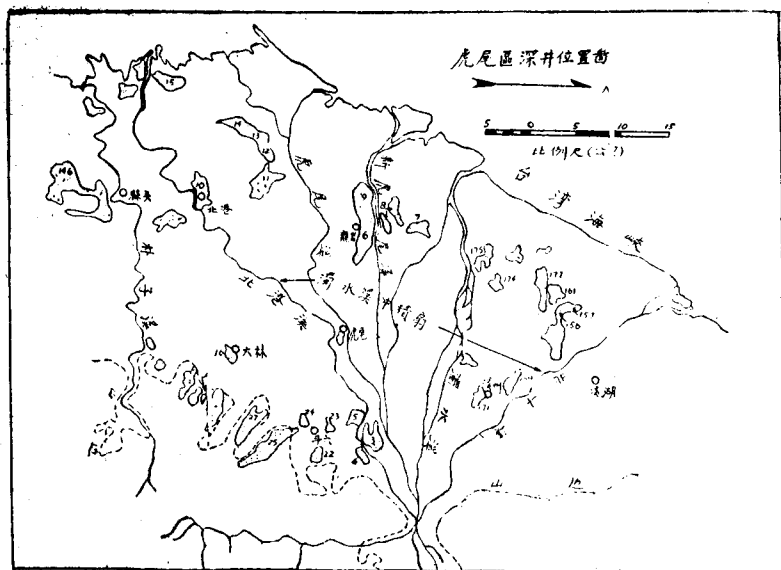
地下水的經濟價值

理論上每 G.P.M. 的流量，一呎水頭，計算需用 .000189 KW 的動力。則

1,000 G.P.M. 每呎水頭的抽水費

$$= \frac{.189 \text{ KWH} \times \text{每度電費}}{\text{總效率} \times 60}$$

若由於選擇適合的抽水機，每架抽水機均能維持同樣的高效率，抽水費自當與水頭成正比。但事實上只就這一點還不能比較地下水的經濟價值，流量小的水，其單位水量的投資雖往往比大流量的井較高，但是單位水量的灌溉面積，和單位面積的灌溉增產則各地不同。此等因素可能反而成為鑿井的決定條件。換言之，一個最好的井，未必是一個經濟價值最大的井。參看上表，斗六崁腳農場的井，平均抽水高度82呎，降落8呎，流量 570 G.P.M.，井深平均 200 呎，井管 184 呎。屏東區海豐農場的井，平均抽水高度 34 呎，降落 9½ 呎，流量 1,240 G.P.M.，井深平均 228 呎，井管 227 呎，除海豐 2 號的井是16吋外，餘均是14吋。因為使用同樣的抽水機，假定每井的投資額和抽水效率相差無幾，則崁腳井平均每單位流量的投資額，約為海豐的 220 %，而抽水費則為海豐的 260 %。由井的本身來看，自然選擇海豐農場的井，但事實上崁腳農場每單位水量的灌溉面積較海豐農場大得多；而且由灌溉可見顯著的增產。海豐則因農場是砂質土，滲漏損失很大，增產效果較低。由此可見各地農場的土壤



和耕作環境的不同，影響其對深井的觀感也頗不一致。

臺糖的 117 口深井全數在下淡水溪，和濁水溪沖積扇範圍之內，這是斯東納和嘉納二氏所認為最理想的鑿井地帶，因此選擇為初期開發地下水的對象。統計 117 井除去兩井不能利用和一個自流井外，平均的抽水高度 37 呎，流量達 900 G.P.M.，整個來說可算相當理想，我們確可證實這兩個地區的地下水有開發的可能，而且根據現在的資料來計劃，以後開鑿井的理應會比目前的井有更好的成績。倘若我們能比照各地的灌溉需水量，水費和灌溉用水的分配情形，自可對地下水的經濟價值有比較公正的估計。我們的目標應該是為了需要而取用地下水，自應選擇最能發揮灌溉效果的地區，因此調查地下水的工作，不可不包括研究以後的使用問題。例如以龍岩、海豐、斗六三地而作比較，龍岩因為影響民井而致有井不能充分利用，海豐井雖理想而灌溉成績較差，倒不如流量最少的斗六區深井最為收效。此外深井的利用還涉及其他的問題，有些似乎容易解決的小事，實際上可能是死結一個。臺灣目前深井的平均狀態比美國加省南部井的平均情形好得多，至於如何去開發利用，則是今後我們自己的問題了。

斯東納和嘉納氏的估計

臺糖公司的深井在開鑿之前曾由美國莊士頓鑿井公司邀請美國開墾局第二區的灌溉工程師斯東納先生，和地質學專家嘉納先生來臺，作一個地下水的調查。他們曾得臺灣各方供給各種資料，因此他們的調查報告中當然也包括了前人研究的結果和意見。筆者重覆詳閱研究他們的報告，似乎他們心目中的估計，在濁水溪和下淡水溪一帶可能得到每井 1,000 G.P.M. 左右的流量，和 30 至 50 呎的水頭，這與四十二年四月的統計結果相差無幾。每年四月當旱季的末期，地下水位較低，若照整個灌溉季節的平均情形來看，流量會比統計的結果 900 G.P.M. 較大，而更接近他們所估計的數字。但是他們對水頭的估計，則與實際情形頗有出入，平均水頭雖差不多，但個別比較則他們的估計水頭多在 30 至 50 呎之間，而實際所開的 117 井，水頭由自流井至地面 100 呎以下。莊士頓公司根據他們的估計，選用同一類型的抽水機，而用在 100 呎以上水頭差的範圍之內，這當然對抽水機的效率會有很大的影響。在

斯東納的報告中，筆者最不為然的是他對深井的灌溉收益渲染過甚，還說是保守的估計。茲將他假設一個 1,000 G.P.M. 50 呎水頭的井的利益估計錄下，我們仔細的研究一番，看那幾項與事實不符。

斯東納氏對一個 1,000 G.P.M.
50 呎水頭深井的估計

(幣值以美元為單位，噸為 Short Ton)

264 英畝甘蔗未開井前的產量價值

20 噸 $\times$ 264 = 5,280 噸

5,280 $\times$ 11% = 580.8 噸糖

價值 580.8 $\times$ 80

\$ 46,464 U.S.

上列 264 英畝蔗糖生產費

甘蔗生產費 5,280 $\times$ 4.67 \$ 24,658

製糖費 5,280 $\times$ 1.33 7,022

經理費 5,280 $\times$ 1.90 10,032

總計 \$ 41,712

264 英畝甘蔗溢利 = 46,464 - 41,712

= \$4,752 U.S.

264 英畝甘蔗開井灌溉後產量價值

60 $\times$ 264 = 15,840 噸

15,840 $\times$ 11% = 1,742.4 噸糖

價值 1,742.4 $\times$ 80

\$139,392 U.S.

上列 264 英畝蔗糖生產費

甘蔗生產費 15,840 $\times$ 4.67 \$ 73,473

製糖費 15,840 $\times$ 1.33 21,067

經理費 15,840 $\times$ 1.33 10,032

肥料 264 $\times$.75 噸 $\times$ \$50 9,900

電費基數 20HP $\times$ 0.40 $\times$ 20 月 160

用電 (11 月)

$\frac{189\text{KW} \times 24\text{小時} \times 330\text{日} \times 50\text{呎}}{60\%}$

= 124,740 KWH @ \$.01 1,247

井維持費 135

15 年機械折舊 2,050

輸電設備折舊 170

總計 \$118,734

264 英畝甘蔗開井後收益 = 139,392 - 118,734

= \$20,658 U.S.

每期甘蔗 20 月內因鑿井灌溉而增收利益

= 20,658 - 4,752 = \$15,906 U.S.

鑿井費估計 \$18,500 U.S. 可於 23 個月內收回

根據上面的算法，鑿井投資可於23個月收回，這似乎比優利存款更為合算。我們且看他的估計是否有當：第一點，他假設臺灣甘蔗產量可因灌溉而增產三倍，據筆者所知，臺灣雖說雨量不均；臺糖的看天田和灌溉區的甘蔗產量，並沒有三倍的距離，這個數字顯然是別處的資料；其次他所假設15年的機械折舊恐怕也是根據外國的情形；至於抽水機的開動時間，自從政府當局取消了加班費，深井每天開動超過八小時已大成問題，他估計11個月連續每天開動24小時，豈非說說而已；再說到抽水機的效率問題，我們用同樣的抽水機裝在117個性能不同的井，而希望能得到60%的總效率，也未免難於置信。斯東納先生經常研究着南加省千數百口井，當然清楚其平均總效率約合幾何。總而言之，他這表上所列各項，與事實相差若干，臺糖公司自有清賬。依臺糖的看法，深井所抽出來的是水，是糖，也是新臺幣。我們一般農民對於農產收益，最講現實。果如所言蔗作的增產，可得15,906美元的純利，約合每甲150美元，則臺糖的原料問題固可迎刃而解，而臺灣地下水的開發更何待政府當局去推動。

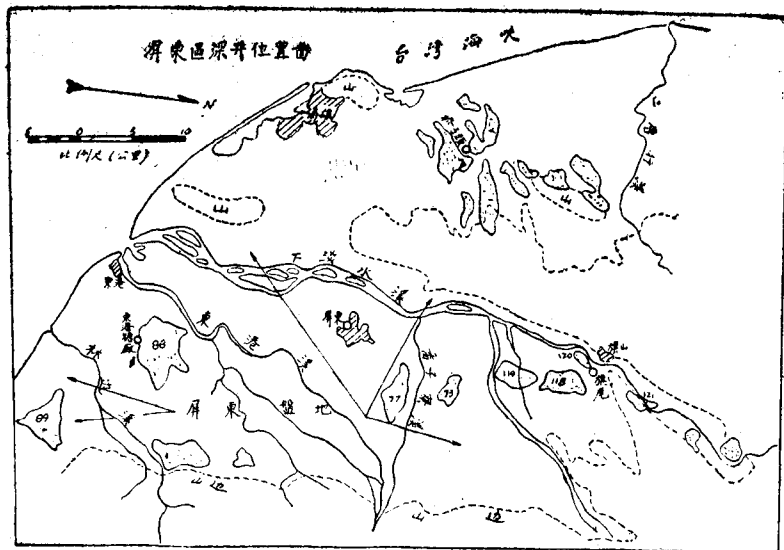
雅各先生的研究

四十一年春美國安全分署聘請雅各先生來臺數月，研究臺灣的地下水情形。筆者除了從他的著作上得識其人，却未有機會當面請教，更未能在他的研究的期間，參加工作，錯過了一個研究學問的機會，深覺可惜。據筆者所知，雅各先生曾在臺糖的深

井，作過一次抽水復原試驗，以研究水層的特性，求其導水率(T)作衡量水層優劣的尺度。但筆者參考這次試驗的結果，知道雅各先生對他這次試驗，可能未有很滿意的收穫。因為在一個陌生地方，地下水的確實情形對任何人均是一個謎，要理論的推算和試驗的結果接近，必需那些用來做理論分析的各项假定，和實際的情形相去不遠。雅各先生此行或有所感，因此他在離臺之前提出幾項建議。研究地下水的問題，任何有關資料均可互相佐證。無論所採研究的途徑或方法為何，其結果皆可使問題漸趨明朗。雅各先生的建議，不論全部或只有一部份見諸實行，對於臺灣地下水的研究均將有所裨益。這種工作是費時、費力、費財的，無從取巧也無從抄襲，倘若我們水利當局真能採取步驟來做這樣一種研究，無疑是一件很值得欣慰的事情。

筆者的管見

這裏筆者所說的管見，大致是根據現成的資料。據斯東納和嘉納二氏的調查，把開發臺灣的地下水源分成幾個階段。第一階段的計劃就是選擇認為最理想的地下水區域先來鑿井，因此臺糖公司第一期的井即集中於屏東和虎尾一帶。就井的本身而言，這個階段的計劃是成功的，一個地區在灌溉季節的末期尚能得平均900 G.P.M. 和40呎以下水頭的地下水，不能不算相當理想。若在這種條件之下鑿井還是不合算，則大可不必再考慮開發臺灣地下水的問題了。



參考四十二年的深井調查，可見當時井的流量比初完工時的流量有增有減，但我們却找不出地下水因抽水而降低的明證。這批井是在三十九年九月至四十年三月的期間陸續完成，這個期間適當旱季，地下水位是下降的，因此水井完工時的流量和四十二年四月的流量比較，並沒有重大的意義。就算把兩年相同月份的水位來作比較，還需涉及當年的雨量、流量等其他因素的關係，這問題也就複雜到無從分析。但若我們從另一方面來推測，這 117 口井的總流量不過 103,800 G.P.M.，約合 231 C.F.S.，以臺灣河床的滲透量和濁水溪與下淡水溪的流量來看，補充這 231 C.F.S. 實在是九牛一毛。就算以地下水的儲量來說，不計流入和流出，這 117 井灌溉八千餘公畝的面積，以每年灌溉四十吋來算，從數十倍其面積的地下水庫內抽出這有限的水量，即使水層的自由流量只有體積的 15%，一兩年間的水位降落，也不會十分顯著，因此我們目前似乎還不必考慮到地下水的供應是否能夠平衡。

影響民井的地區在虎尾、北港、龍岩一帶，這是濁水溪沖積扇下游的平原。這些地區的靜止水位頗高而有十餘呎至二三十呎的降落。水量雖很豐富，但若影響民井的問題未能解決，則此數地可列為鑿井禁區，不必再加討論。至於地下水的利用價值，生管會的一九〇次會議決議請水利局和臺糖公司分別計算地表水和地下水每單位水量所耗的費用來作比較，這無疑是一項難題，各地的水租是不能用作比較地表水的價值的，也無從估計某一灌溉系統的現值幾何，我們一向也並非根據單位水量來徵收灌溉費。一般而論，開發地下水的主要原因就是因為得不到地表水或引用地表水的工程費過大，其出發點已經完全是一個經濟利用的問題。我們並非研究在同一地區有用地表水或地下水來灌溉的可能，因此而比較兩種辦法的經濟價值。除此之外，地表水和地下水的單位水量價值比較，是沒有什麼意義的。在容易取到地表水的地區，鑿井自然不經濟，

在得不到地表水的地區，鑿井自是經濟而且必需。臺糖並非廢棄了一個現成渠道代之以鑿井，我們研究任何一項灌溉工程，應以其灌溉收益來比較其經濟價值才是正確的觀念。

雅各先生在臺數月，筆者很希望知道他的研究結果和觀感，藉以增見聞，但據悉他的報告尚未完成。上表計算的每呎降落抽水量 (Specific Capacity)，在深井來說可能是一個常數，作為表示井的性能和水層的優劣。這只需把流量除已降落即得，雖是一個較籠統的概念，但很簡便。我們要把萬隆、大鰲營一帶的井和北港、龍岩一帶的井，比較其每呎降落抽水量，可見沖積扇上游的水層和下游平原的水層有明顯的區別。雅各先生所作的試驗，也就是研究各井水層的特性。

還有一點，筆者以為我們研究地下水的問題，似乎多把注意力集中在開鑿深井，對簡易的淺井則不大重視。筆者暑期內曾到過橋子頭一帶，見有不少淺井，流量在 100 至 200 G.P.M.，用小型離心式抽水機，每井可灌蔗田十餘甲。這種淺井的開鑿和抽水機的裝設，每井不過新臺幣兩萬元左右，18,500 美元可開數十口井。小型離心式抽水機我們可以自造，每架臺幣數千元，而深井透平機則每架美金數千元。臺灣可能有不少可以開淺井的地區，這種淺井較能適合農民的需要，而且是他們經濟能力所能辦到的。

結 論

這篇報導的取材，完全是從臺糖公司所得的資料，膚淺得很，可是想再作進一步的研究却感有心無力，目前只可到此為止。總而言之，目前要研究臺灣地下水的情形，也只有臺糖公司有多少實際資料。筆者以為開發臺灣地下水，理論上是可以證實的，技術上也是可以成功的，至於效果如何，則目前很難作任何具體的比較。

地下水庫出水量之基本理論及概念

李 似 椿 譯

近世人類為適應生存之需要，用水量因之急增，地表水之利用，亦將趨飽和狀態，尤在旱季少雨地區，需水孔殷，因此地下水開發已引起廣大之興趣。有關地下水庫之安全出水量及其可能超抽水量(Overdraft)之各項問題，近亦普加研究。

普通人畜耕地之用水，均由河川供給，故其流量常能以儀器量度。所以有關用水之水權問題，殊少遭遇特別困難事故，管理亦感方便。現時各河川中均有大量水流，此項水量分配之水權，早被判定，各水權持有人亦明瞭其渠道引入水量之多寡，對於收益之關係。

地上水之情況，非肉眼能見，雖地下水庫之出水量超過其安全出水量時，水庫中仍能蓄有鉅大之水量。如欲決定是項安全出水量，實為價高事煩之困難工作，所以每一抽水地點，非至抽水過量有嚴重之現象發生，絕少勇氣作此等工作。在美國有些地下水庫已作此項調查。吾人迄今猶在尋求地下水之智識及探討新概念之階段，故不能以現有智識之衆多而自滿，有關於安全出水量及地下水庫(蓄水層)中水流行動之原有概念，尙有待吾人進步之智識及經驗不斷改進，使之愈趨完備。

一、基本概念

地下水在早期之過程中，甚多外行及部份工程師存一種觀念，即地下水取之無盡，用之不竭。此種概念，曾風行一時，可是又為另一廣泛確切之事實取而代之，此即某一地下水源之給水量，若超過一相當時日，則出水量漸次減少。以此現象為依據，地下水水文學之主要公式，由此產生。

總補給量(Total recharge) = 總出水量
(Total discharge)

因總出水量為自然流出量(Natural discharge)與人工流出量(Artificial discharge)之和，因此上式可改寫為：

總補給量 = 自然流出量 + 人工流出量

上式表示，一地下水經過長期補給以後，必須將其抽出普遍應用，而減少其天然流出量，方可免

於浪費及損耗。

如吾人能將出水量加以適當控制，使自然出水量完全消除，則人工出水量可望達到補給量，在此情形，安全出水量將可與補給量相等，惟實際絕少可能。

如抽水時間超過一定限度，則總流出量(自然流出與人工流出)勢必超過總補給量，此項超出水量必取於蓄水，此蓄水為過去數年中積蓄在地下水庫之內者。

超抽出水量 = 自然流出量 + 人工流出量 - 補給量

因此可知蓄水库內水量之減少，與某期間內之超抽水量之總和相等，或為抽出水量超過安全出水量之差數。

超抽水量常以每年之平均超出水量表示，換言之，即在某一時間內之總超抽水量，將該時間之相當年數除之。通常超抽水量因抽出水量之多寡而增減，然常不直接以正比例變化。

地下蓄水库安全出水量之通常解釋為：

在某一地下水庫內長時間用抽水機或其他人為方法，以某一單位時間之平均水量為抽水單位，繼續不斷抽水，而仍不使水庫供水完全枯竭，則此抽水單位稱之謂安全出水量。

此項假定，實際上當須加以下列之限制：

1. 不減低水庫內之壓力或減低自由水面至某一高度，而引起抽水成本之提高。
2. 避免有害性質之水流侵入地下水庫之威脅。

二、地下水庫之兩種型式

地下水庫均在不凝固之沖積層地帶，普通有兩種，今列於下：

1. 自由水地下水庫(Free Water reservoir)：附屬水井實施抽水時，水井之水位發生變化，同時水庫之水面亦生變動，即代表水庫之蓄水容量改變。
2. 壓束地下水庫(Confined reservoir)：附

屬水井實施抽水時，水井之水位發生變化，此即表示含水層中之水壓因下列情形而起變動：

(一)壓束水庫在水力持續 (Hydraulic Continuity) 之情形下，補給地區或出水地區之蓄水量發生變化，或

(二)壓束部份因出水率發生波動。

壓束水庫含水層之上，為不透水層，該項含水層中充滿水量，而其蓄水量常為固定，其因壓力所引起之微小變動，可略而不計。壓束水庫與自由水水庫之間，必須有水力持續之關係，使其能接收自由水庫注送之補給水量。同樣與自由水水庫之間，亦必須有水力持續之關係，使其能接收自由水庫注送之補給水量。同樣與自由水水庫之間，亦必須有水力持續之關係，使壓束水庫之水量，能注入自由水水庫。

地下水庫區域，常以下列之基本水源作為水庫之補給量：

1. 補給地域面積上所受之降雨。
2. 河川流量流經或流入補給地域。
3. 由鄰近地下水庫在地下之補給。
4. 由地下水之各部份輸入之。

同時流出量發生於下列各場合：

1. 地下水庫上層潤濕砂土之蒸發及覆蓋植物之葉而散發。
2. 水量自地下水庫之通流部份流向河川。
3. 水量由地下暗流至另一地下水庫。
4. 由地下水庫之各部份流出之。

三、超抽水量問題

普通除非發覺地下水庫已經有超抽水量之現象發生，甚少致力於地下水庫安全出水量之決定。此超抽現象常由水井之水位長期下降顯示之。然此亦不一定表示水庫之已達或將近超抽，僅表示地下水庫當出水量改變時所引起情況之變化而已。

有關補給量及出水量等各項因素，如能算出合理之結果，則某一時期內補給量及出水量之平均數之差，即為此時期之超水量。然在此各項因素中，尤以地下補給 (Underground recharge) 及地下流出二項，實無法算定，其他各項則當可憑估計推算。

四、超抽水量之估計

在某段時期內蓄水量之減少如能決定，則同樣

可得合理之根據，作為超抽水量之估計。

估計超抽水量時常遇之困難即為選定之長時間中缺乏可靠之資料。此為常以較短期間之資料作為決定之原因，當此期間，平均流量及平均雨量大約均能算出，此類資料常可適用於超抽水量的估算。因此在可能範圍內得應用短期資料，以估算補給量與流出量之差，及蓄水容量之減少，然後估算超抽水量。

如有恰當之資料，並運用健全之見解，則可配合實地情形，選用一種方法估算超抽水量。又超抽水量常可能從水庫內水量體積之改變而估計之，然事實上此為一極煩雜問題，因水庫有時雖無超抽水量，而為適應其本身環境之需要，常有水位下降之現象。

若補給水量各項之和超過流出水量各項之和，或蓄水量之增加超越出水量時，則必合於下列假定之一：

1. 可選定之時間不是一合宜於測定平均值之適當時間。

2. 在高補給水量及高流出水量期間，與低補給水量及低流出水量期間有一遲滯 (Lag) 行動存在，此項遲滯行動依下列因素而起變化：補給量與地下蓄水容量之關係，水庫填充物質之流通率 (Transmissibility)，補給與流出之主要地區間距離及高度差等等。有時因此遲滯現象，超抽水量的估計得予修正。

超抽水量情況之解決，最好是抽水不超過地下水庫之安全出水量。此項求諸於補給水量之增加或減少天然及人工流出量，至平衡狀態止。增加補給量之通常方法即為在補給地區之多孔面積上，增多散播之水量，注水入水井，增加河川流量引至耕地之滲透量或河道之其他處理。

五、減少流出量

天然流出量之減少，可以改變抽水型式以促成之，其中包括在天然流出地區之附近增加其出水量，同時減少遠離天然流出地區各水井之出水量，及減少潤濕地區之總蒸發損耗量 (Evapotranspiration Losses)。人工流出量之減少，可規定水量之最大限度以限制之，更可鼓勵井戶使用地表之補充水量代替現用之地下水。

規定出水量之最大限度可視為某一地區之超抽水量之解決要素，因其業已建立實用價值，在某一