

國家科學及技術委員會補助專題研究計畫報告

屏東地下水鹽化區觀測井導電度之季節變化

報告類別：成果報告

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：MOST 111-2116-M-041-001-

執行期間：111年08月01日至112年07月31日

執行單位：嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學環境工程與科學系(含碩士班)

計畫主持人：陳文福

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：蕭美榆

本研究具有政策應用參考價值：☐否 ☒是，建議提供機關經濟部, 屏東縣政府

(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)

本研究具影響公共利益之重大發現：☒否 ☐是

中 華 民 國 112 年 09 月 05 日

中文摘要：地下水鹽化區不同觀測井的井內水密度可能不同，因此水頭必須經過密度校正才能比較。學界(例如Post et al., 2007)提出以相當淡水水頭(equivalent freshwater head)的校正方法，將觀測水頭換算為相當淡水水頭。Chiu et al. (2021)(此研究本人為通訊作者)以導電度換算為密度，經由密度及井篩深度，將觀測水頭換算為相當淡水水頭，來探討屏東地下水鹽化區的範圍及流動方向。本研究進一步調查屏東沿海地下水鹽化區域，使用觀測站9站26口分層觀測井，2022年9月至2023年5月量測井內水導電度及水位共六次。結果發現大部分的鹽化井，井內導電度都有明顯的季節變化，即豐水期(2022年9-12月)的導電度較低、而枯水期(2023年2-5月)的導電度較高，表示海水入侵仍然進行中，所以枯水期時井內的導電度會變大。值得注意的是含水層二的趨勢不同，淡水/鹽水邊界於豐水期時在東港二號井深度72-74m附近，枯水期時在深度78-80m附近，顯示枯水期時，此邊界仍然往海側移動，表示從陸側來的淡水仍然能夠流向海側。

中文關鍵詞：地下水鹽化，導電度，屏東

英文摘要：The densities of groundwater within observation well may be different in those areas with saline aquifers. The hydraulic heads should be correlated to the density variation within observation wells, i.e. the equivalent freshwater head (Post et al. 2007). Chiu et al. (2021) use freshwater heads to analyze flow directions in saline aquifers of the Pingtung Plain. In this article, I am the correspondence author, also shows that electric conductivities (EC) within observation wells have variations vertically and seasonally. This study will focus on the vertical EC variation in saline aquifers with a total of 26 observation wells with 6 measurements during Sept. 2022 to May 2023. The results of this study show most of those wells have seasonal EC variation. The EC values are higher in low head period (Sept. to Dec. 2022) and lower in high head period (Jan. to May 2023). Those data suggest that sea water intrusion are going on and cause the higher EC in those wells.

英文關鍵詞：Saline groundwater, electric conductivity, Pingtung

屏東地下水鹽化區觀測井導電度之季節變化

The seasonal variation of electric conductivity within monitoring wells in saline aquifers of Pingtung

摘要

地下水鹽化區不同觀測井的井內水密度可能不同，因此水頭必須經過密度校正才能比較。學界(例如 Post et al., 2007)提出以相當淡水水頭(equivalent freshwater head)的校正方法，將觀測水頭換算為相當淡水水頭。Chiu et al. (2021)(此研究本人為通訊作者)以導電度換算為密度，經由密度及井篩深度，將觀測水頭換算為相當淡水水頭，來探討屏東地下水鹽化區的範圍及流動方向。本研究進一步調查屏東沿海地下水鹽化區域，使用觀測站 9 站 26 口分層觀測井，2022 年 9 月至 2023 年 5 月量測井內水導電度及水位共六次。結果發現大部分的鹽化井，井內導電度都有明顯的季節變化，即豐水期(2022 年 9-12 月)的導電度較低、而枯水期(2023 年 2-5 月)的導電度較高，表示海水入侵仍然進行中，所以枯水期時井內的導電度會變大。值得注意的是含水層二的趨勢不同，淡水/鹽水邊界於豐水期時在東港二號井深度 72-74m 附近，枯水期時在深度 78-80m 附近，顯示枯水期時，此邊界仍然往海側移動，表示從陸側來的淡水仍然能夠流向海側。

關鍵字: 地下水鹽化, 導電度, 屏東

Abstract

The densities of groundwater within observation well may be different in those areas with saline aquifers. The hydraulic heads should be correlated to the density variation within observation wells, i.e. the equivalent freshwater head (Post et al. 2007). Chiu et al. (2021) use freshwater heads to analyze flow directions in saline aquifers of the Pingtung Plain. In this article, I am the correspondence author, also shows that electric conductivities (EC) within observation wells have variations vertically and seasonally. This study will focus on the vertical EC variation in saline aquifers with a total of 26 observation wells with 6 measurements during Sept. 2022 to May 2023. The results of this study show most of those wells have seasonal EC variation. The EC values are higher in low head period (Sept. to Dec. 2022) and lower in high head period (Jan. to May 2023). Those data suggest that sea water intrusion are going on and cause the higher EC in those wells.

Keyword: Saline groundwater, electric conductivity, Pingtung

井內水的密度有關，井內水密度差異越大、可能導致流動方向的誤判(Chiu et al. 2021)。

地下水鹽化區不同井的井內水密度可能不同，因此水頭必須經過密度校正。學界(例如 Post et al., 2007)提出以相當淡水水頭(equivalent freshwater head)的校正方法，將觀測水頭換算為相當淡水水頭。屏東觀測井設立後持續有連續性監測水頭數據，觀測頻率為一小時(經濟部水利署, 2013)，但是井內水的導電度並沒有定期觀測，所以這些水頭資料並沒有經過井內水的密度校正。使用這些未校正的水位數據來探討海水入侵問題，會有一些基本的誤差，可能誤判地下水的流向(江崇榮、1998、2000；Huang and Chiu, 2018; Dibaj et al., 2020)。

Chiu et al. (2021)(此研究本人為通訊作者)以導電度換算為密度，經由密度及井篩深度，將觀測水頭換算為相當淡水水頭，以相當淡水水頭來探討屏東地下水鹽化區的範圍及流動方向(圖 2)。圖 2 顯示屏東平原沿海地區含水層 F3-2 原始量測水頭及推算的相當淡水水頭，含水層 F3-2 深度約 150-230 m，以平均 190 m 估計，相對深度海水的淡水水頭為 4.95 m，紅色虛線內的相當淡水水頭小於 4.95 m 為可能發生的海水入侵區域。此推論與實測導電度鹽化的範圍相當一致(圖 3)。

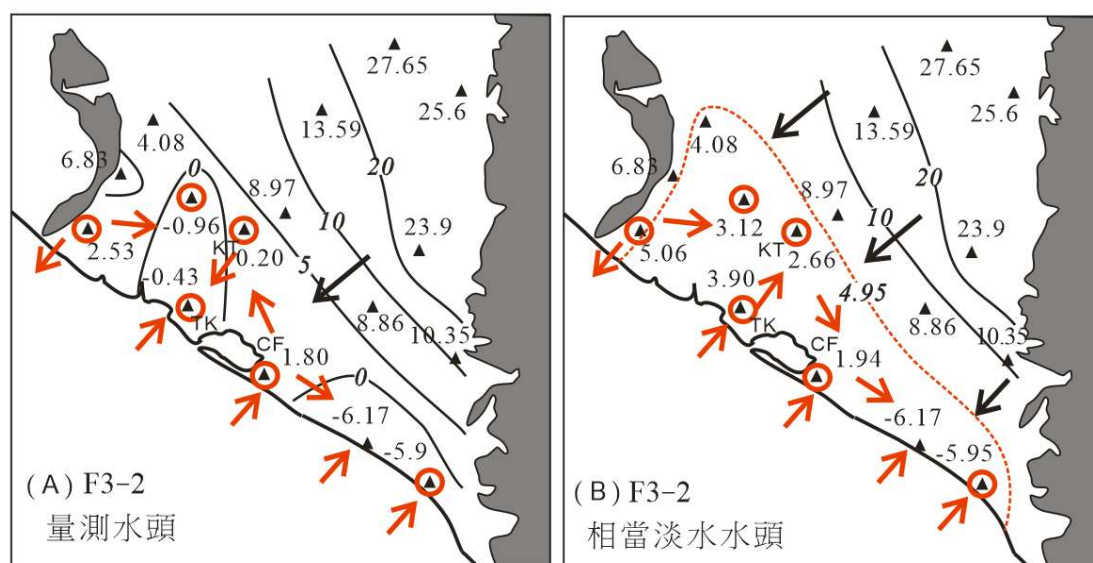


圖 2 屏東平原沿海地區含水層 F3-2 原始量測水頭(A)及推算的相當淡水水頭(B)，水頭的單位為公尺(m)，2012 年之年平均。標示紅圈為鹽水井(井內水導電度 >1500 uS/cm)，黑色箭頭為淡水流動方向，紅色箭頭為鹽水(或海水)流動方向。觀測井代號: KT 港東、TK 東港、CF 崎峰。含水層 F3-2 深度約 150-230 m，以平均 190 m 估計，相對深度海水的淡水水頭為 4.95 m，紅色虛線內的相當淡水水頭小於 4.95 m 為可能發生的海水入侵區域。

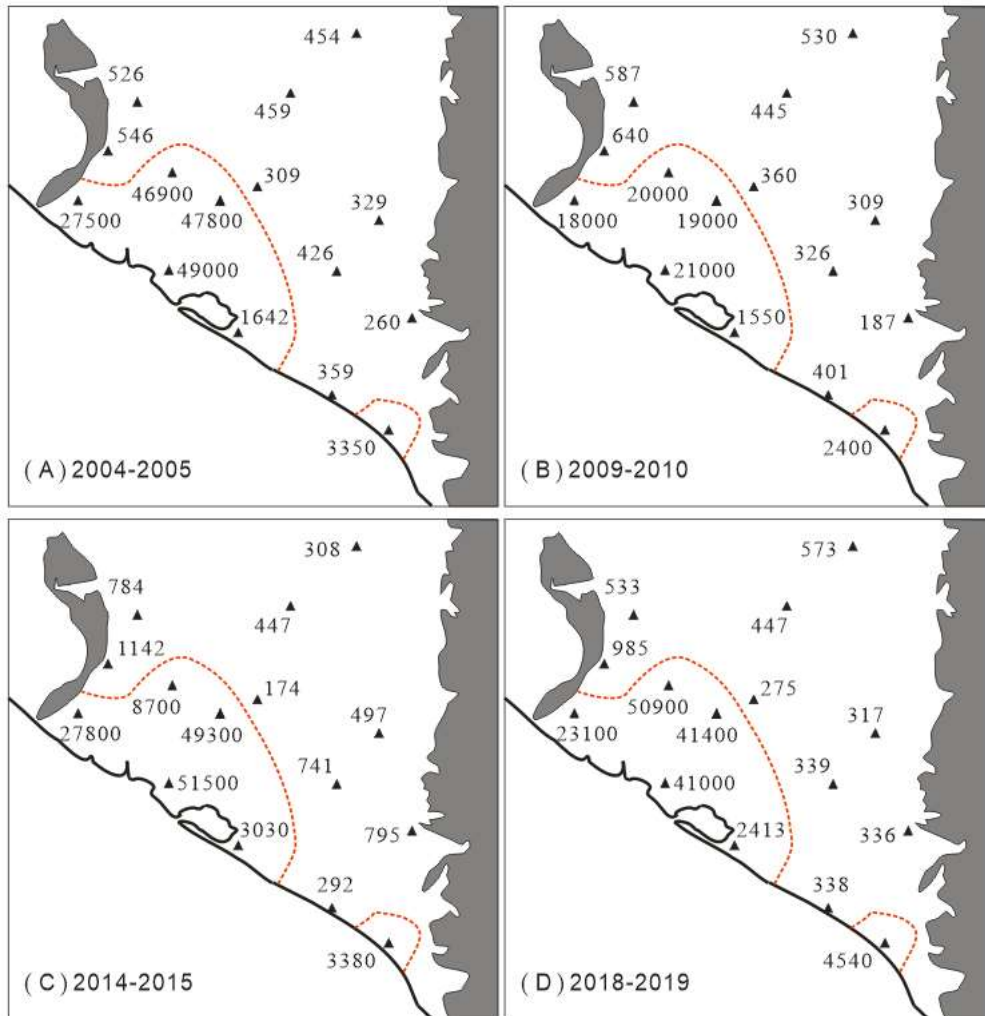


圖 3 屏東平原沿海地區含水層 F3-2 之歷年導電度，導電度單位($\mu\text{S}/\text{cm}$ at 25°C)。(取自 Chiu et al. 2021)

Chiu et al. (2021)的研究也發現，觀測井井內水的導電度在垂直方向並不相同，另外也有季節的差異(圖 4)。東港 4 號井下部的 EC 比較高，在 2020 年 9 月(雨季)為 $44000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，井內水中上部約 $42000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，到了 2021 年 2 月(旱季)下部的 EC 達到 $54000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，中上部約 $51000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，然後在 2021 年 4-6 月(雨季初期)下部的 EC 降至 $51000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，中上部約 $48000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，從一年的數據來看，似乎雨季時、導電度有降低的趨勢。

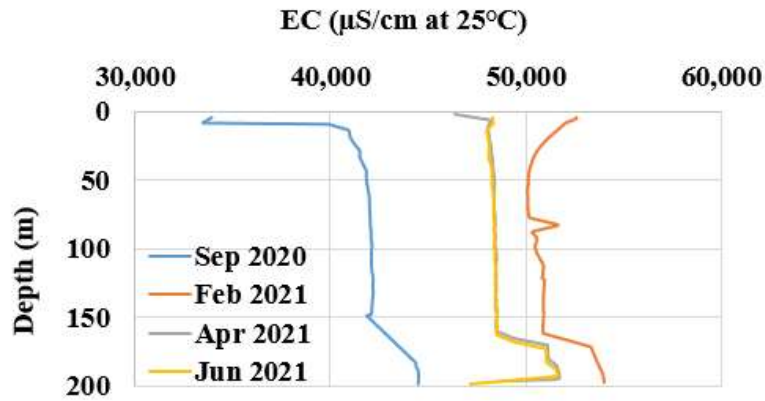


圖 4 東港 4 號井之井內水導電度($\mu\text{S}/\text{cm}$ at 25°C)

導電度與季節之關係值得進一步研究，本計畫預計在不同季節，一年四次(2022 年 8 月至 2023 年 7 月)，量測屏東鹽化井的井內水導電度及水位，了解不同季節的淡水水頭分布，及井內水導電度變化的原因。目前水利署的常態監測並沒有井內垂向導電度的數據，本研究將可提供屏東地下水鹽化區最新的水位及最基本的導電度數據，以供了解鹽化區地下水的流向，作為治理地下水鹽化的依據與參考。

2. 研究方法

研究區域位於屏東沿海地下水鹽化區域(圖 1)，共有觀測站 9 站 26 口分層觀測井(表 1)。預計一年四次在不同季節，2022 年 8 月至 2023 年 7 月，量測井內水導電度及水位。

表 1 屏東地下水鹽化井

編號	井名	濾管起點 m	濾管終點 m	靜水位 m	X(m)	Y(m)	地表高程	分層
1	德興一	6	18	4.27	207000	2474613	3.58	1
2	德興二	111	126	19.78	207000	2474613	3.58	3-1
3	德興三	162	174	9.78	207000	2474613	3.58	3-2
4	大庄(一)	28	40	11.50	202810	2477706	2.90	1
5	大庄(二)	151	193	14.91	202810	2477706	2.9	3-1
6	崎峰(一)	14	26	4.43	197199	2480945	3.47	1
7	崎峰(二)	51	72	12.17	197199	2480945	3.47	2
8	崎峰(三)	114	132	10.43	197199	2480945	3.47	3-1
9	崎峰(四)	181	202	4.68	197199	2480945	3.47	3-2
10	大潭(一)	48	60	6.75	197221	2484469	3.42	2
11	大潭(二)	161	188	2.10	197221	2484469	3.42	3-2

12	東港(一)	9	18	2.64	193156	2485971	3.00	1
13	東港(二)	72	84	4.99	193156	2485971	3.00	2
14	東港(三)	126	138	4.03	193156	2485971	3.00	3-1
15	東港(四)	165	195	5.36	193156	2485971	3.00	3-2
16	石化一	12	47	4.19	187485	2487965	3.99	1
17	石化二	74	104	4.19	187485	2487965	3.99	2
18	港東一	30	48	4.45	195798	2490241	4.37	1
19	港東二	123	141	5.60	195798	2490241	4.37	2
20	港東三	168	186	6.40	195798	2490241	4.37	3-2
21	港東四	240	264	6.73	195798	2490241	4.37	4
22	新園(一)	6	24	8.92	192774	2491800	5.98	1
23	新園(二)	165	189	9.13	192774	2491800	5.98	3-2
24	林園(一)	24	42	4.39	186809	2490130	5.04	1
25	林園(二)	114	138	3.13	186809	2490130	5.04	3-1
26	林園(三)	168	192	3.42	186809	2490130	5.04	3-2

水位的量測使用手提式水位計。井內垂向導電度的量測使用美國 In-situ 公司 Troll-200 測棒（圖 5），進入地下水面後，每間隔 4m 測量一點數據，每點停留至少 1min，因每點同時有水壓數據，即可換算該井深的導電度。量測時由上往下量一次。美國 In-situ Troll-200 為水壓、導電度與溫度三合一自記式測棒。導電度量測範圍 0 - 80,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，準確度 $\pm 0.5\%$ 。溫度量測範圍-20—80°C、準確度 0.1°C、解析度 0.01°C；壓力量測範圍可達 350m 水壓、準確度 0.1%、解析度 0.005%。導電度確認方式為標準液測試，超過原廠設定值，需送回校正(陳文福等 2017)。



圖 5 美國 In-situ Troll-200 水壓、水溫及導電度自記測棒。(陳文福等 2017)

本研究使用地下水觀測井，其開篩不長，約6-24 m，且都位於底部，大都位於單一含水層，因此比較不會有多層水流互相流動的問題。觀測的含水層中的地下水沿著開篩段流入井內，達到與含水層水壓平衡的高度，形成一井內的地下水面，此井內水柱的垂向導電度分布可能是多次水流在井內流動或擴散的結果，應該和地下水密度及含水層開篩段的EC(導電度)變化有關，另外水利署的水質抽水採樣也會造成井內EC之改變。

井內垂直導電度量測結果，都會換算為每公尺(深度)的導電度數值，以方便各井之間比較；另外也會算出井內導電度的平均。為方便討論，本研究將導電度小於 $1500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 定義為淡水，大於 $52000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 定義為海水，介於之間的定義為鹽水。如果在觀測井內量測有 $1500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 的數值則該井位於淡水/鹽水邊界，量測到 $52000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 的數值則該井位於鹽水/海水邊界。

3. 結果與討論

從2022年9月至2023年5月共進行了6次的現場量測，9-12月水頭較高，可歸納為豐水期，2-5月水頭較低，屬於枯水期。以下先就潮州-崁頂-港東-東港剖面，分為四個含水層來分別描述，圖6為豐水期(2022年9月)，圖7為枯水期(2023年3月)。

3-1 潮州-東港剖面

第一含水層的淡水/鹽水邊界在港東與東港之間(圖6及圖7)，本研究6次量測值，潮州至港東的觀測井井內平均導電度約為 300-900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，都屬於淡水(表2)，6次量測值顯示，港東一井的導電度有明顯的變小，從 867 降至 778 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，表示從陸側來的淡水有影響到港東一井。

港東一井的井內導電度深度圖(圖8)顯示，有明顯的隨深度向上變小的趨勢，本井的開篩段為深度 30-48 m，推測不同密度的地下水經由篩孔流入井內，比重較大(導電度較高)的水往下流，井底約 54 m，此處的導電度最高；比重較小的水往上流，所以淺處的導電度較小。量測期間港東一井的導電度都小於 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，顯示淡水/鹽水界線在港東與東港站之間移動。

東港一觀測井的井內平均導電度 29000-35000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，屬於鹽水(表3)，但是導電度在井內呈現上淡下鹹的分布(圖9)，6次量測有4次有測到海水(表4)，其中以2023年5月最嚴重，篩管深度16-23 m 的導電度都超過 52000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (假設海水的導電度)。因為東港一的淡水水頭都大於港東一，所以海水濃度的地下水持續由海側流向陸側。

從表4東港一篩管的導電度數據顯示，枯水期時地下水導電度達到海水的比例較高，推測豐水期時鹽水/海水界面往海側移動，枯水期時往陸側移動，的確有季節變化，導電度的觀測與水頭觀測的推論是一致的。

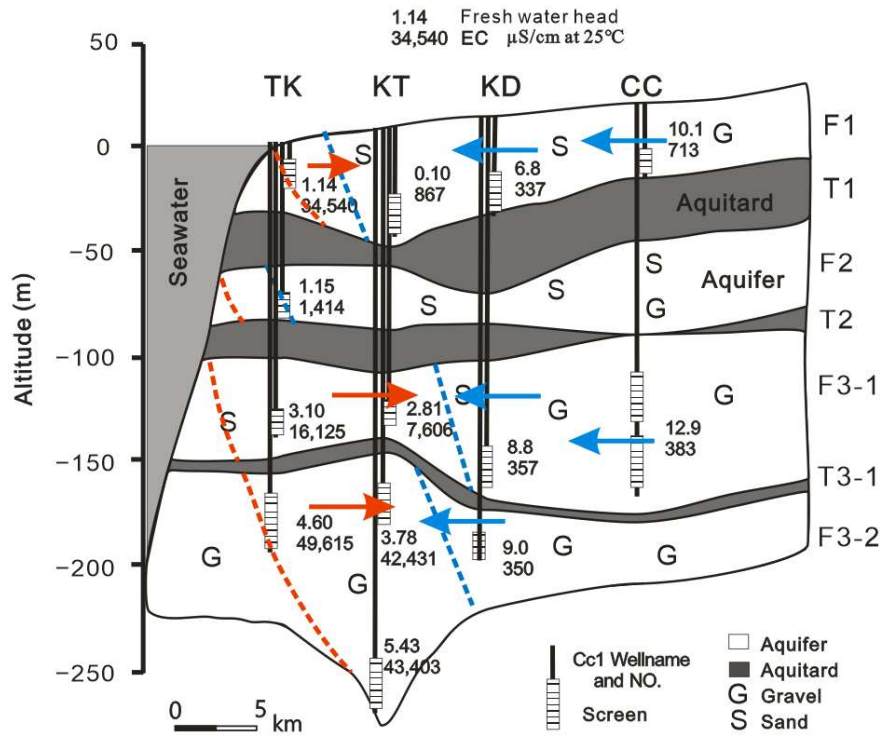


圖 6 東港潮州剖面之淡水水頭及井內平均導電度(2022 年 9 月豐水期)

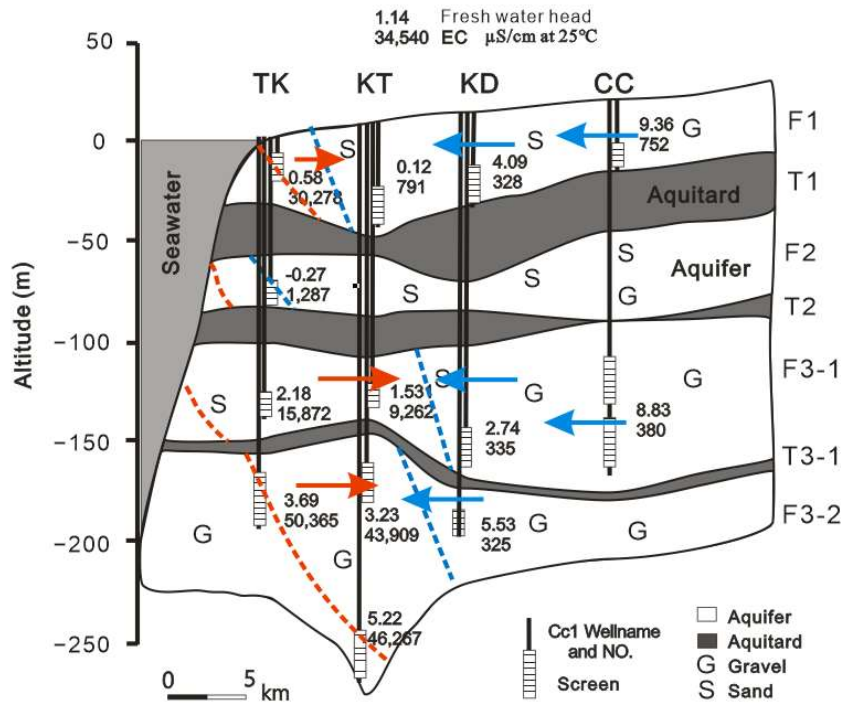


圖 7 東港潮州剖面之淡水水頭及井內平均導電度(2023 年 3 月枯水期)

表 2 第一含水層潮州及崁頂淡水水頭及導電度

日期	潮州一		崁頂一	
	淡水水頭	導電度	淡水水頭	導電度
202209	10.11	713	6.51	337
202212	9.77	612	6.80	340
202302	9.61	781	5.57	347
202303	9.36	752	4.09	328
202304	8.2	730	3.38	313
202305	7.6	728	4.8	329

表 3 第一含水層東港及港東淡水水頭及井內平均導電度

日期	東港一		港東一	
	淡水水頭	導電度	淡水水頭	導電度
202209	1.14	34540	0.10	867
202212	0.94	31373	0.04	866
202302	0.44	31511	-0.33	856
202303	0.58	30278	0.12	791
202304	0.64	29851	0.10	741
202305	0.79	33376	0.54	778

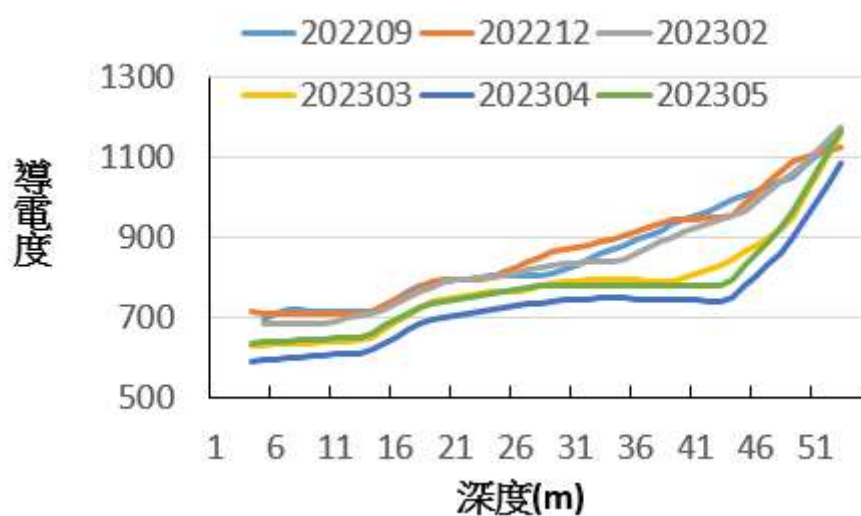


圖 8 港東一井內導電度與深度變化

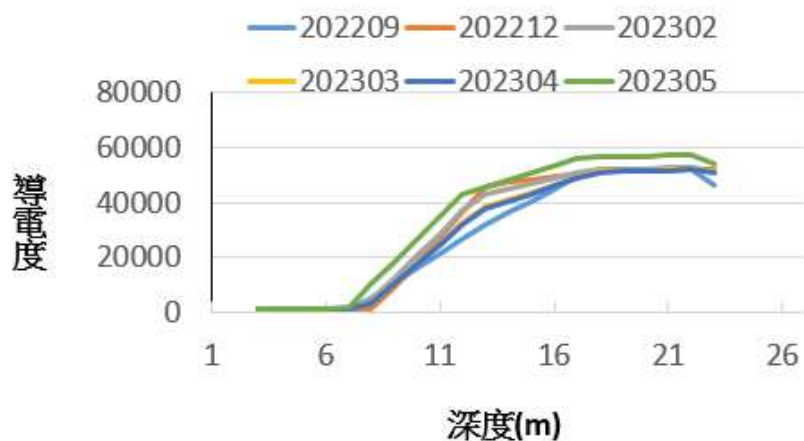


圖 9 東港一井內導電度與深度變化

表 4 東港一井內導電度

深度(m)	202209	202212	202302	202303	202304	202305
1						
2						
3		1051.17	1010.39	953.437	957.605	971.693
4		1057.52	1036.41	955.52	958.085	971.616
5		1063.87	1062.42	957.602	958.565	971.54
6		1070.22	1088.44	959.685	959.045	971.463
7	1104.2	1076.57	1114.45	961.768	959.525	1800.91
8	4962.34	1082.92	4398.09	3152.61	3114.63	10096
9	10478	9280.21	12568.2	10450.5	10297.2	18391.1
10	15993.7	18387.6	20738.2	17748.5	17479.8	26686.3
11	21509.4	27495	28908.3	25046.4	24662.4	34981.4
12	27025.1	36602.4	37078.3	32344.4	31844.9	43276.5
13	31879.9	45709.8	42760.1	38269.1	37712.1	45876.4
14	36294.1	47498.4	44709.5	40989.5	40510	48476.4
15	40708.3	48473.8	46658.9	43709.9	43307.9	51076.3
16	45122.4	49449.1	48608.3	46430.4	46105.8	53676.3
17	49536.6	50424.5	50557.7	49150.8	48903.7	56276.2
18	51402.8	51399.9	52142.9	51361.1	51178.1	56646.7
19	51570.2	51721.6	52271.2	51531	51358.8	56795.1
20	51737.7	51772.6	52399.5	51700.9	51539.5	56943.5
21	51905.2	51823.7	52527.8	51870.7	51720.2	57091.9
22	52072.6	51874.7	52656.1	52040.6	51900.8	57240.3
23	46410.2	51925.7	51388.9	51454.6	50911.4	54091.6

第二含水層在潮州東港剖面只有一口觀測井(東港二)，豐水期(9-12 月)淡水水頭較高，枯水期(2-5 月)淡水水頭較低(表 5)，此趨勢與第一含水層相同。井內平均導電度約 1200-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，趨勢與預期相反，原先預期因為豐水期淡水水頭較高，所以井內水導電度應該變小，但是實測值卻顯示井內平均導電度在枯水期反而比較小。

東港二井的開篩段在 72-84m，如果假設淡水的導電度為 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，6 次量測值剛好看到淡水/鹽水界線(表 5 及圖 10)。豐水期時淡水/鹽水邊界在深度 72-74m 附近，枯水期時淡水/鹽水邊界在深度 78-80m 附近，顯示枯水期時，此邊界往海側移動，表示從陸側來的淡水流向海側。

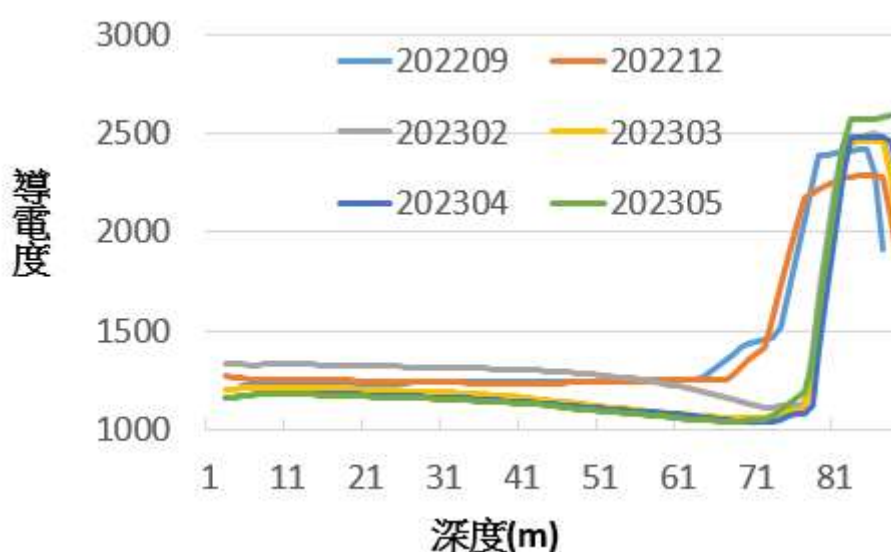


圖 10 東港二井內導電度與深度變化

表 5 第二含水層東港二淡水水頭及導電度

日期	東港二	
	淡水水頭	導電度
202209	1.15	1414
202212	1.09	1421
202302	0.26	1391
202303	-0.27	1287
202304	-0.41	1267
202305	-0.3	1269

表 6 東港二井内導電度

深度(m)	202209	202212	202302	202303	202304	202305
72	1457	1417	1110	1063	1036	1050
73	1470	1572	1113	1066	1035	1069
74	1516	1727	1116	1078	1052	1098
75	1701	1882	1120	1090	1068	1128
76	1885	2036	1123	1102	1075	1158
77	2070	2178	1132	1114	1082	1187
78	2254	2198	1405	1282	1117	1339
79	2386	2218	1678	1554	1407	1612
80	2393	2238	1950	1826	1697	1885
81	2400	2259	2223	2098	1986	2158
82	2407	2277	2444	2370	2276	2431
83	2415	2281	2459	2454	2479	2569
84	2420	2285	2474	2457	2480	2571

第三之一含水層在潮州東港剖面共有四口觀測井，豐水期(9-12 月)淡水水頭較高，枯水期(2-5 月)淡水水頭較低(表 7 及表 8)，此趨勢與第一及第二含水層相同。淡水/鹽水界線約在崁頂與港東之間，崁頂二井內平均導電度約 320-360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，都屬於淡水。港東二井井內平均導電度約 7600-9400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，都屬於鹽水，但未達海水程度，有明顯的季節變化，豐水期導電度 7600-7900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，枯水期導電度 8900-9400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。港東二井的導電度與深度變化(圖 11)，導電度基本上也是深部較大、淺部較小，大約介於 5000-15000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

東港三井井內平均導電度約 15000-17000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，都屬於鹽水，但未達海水程度。東港三井的導電度與深度變化(圖 12)，導電度基本上也是深部較大、淺部較小，大約介於 15000-35000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，但值得注意，深度 126-138m 相當於開篩段，此處的導電度與上段有極大的差別，導電度數值隨深度並不是漸變的。

表 7 第三之一含水層潮州二及崁頂二淡水水頭及導電度

日期	潮州二		崁頂二	
	淡水水頭	導電度	淡水水頭	導電度
202209	13.05	383	5.96	357
202212	13.3	400	>6.19	350
202302	9.93	384	3.60	355
202303	8.83	380	2.74	335
202304	7.95	381	2.62	320
202305	8.58	379	2.6	334

表 8 第三之一含水層東港三及港東二淡水水頭及導電度

日期	東港三		港東二	
	淡水水頭	導電度	淡水水頭	導電度
202209	3.10	16125	2.81	7606
202212	2.96	15782	2.66	7923
202302	2.20	16194	1.72	9411
202303	2.18	15872	1.53	9262
202304	2.13	15770	1.37	8985
202305	2.21	16730	1.86	9250

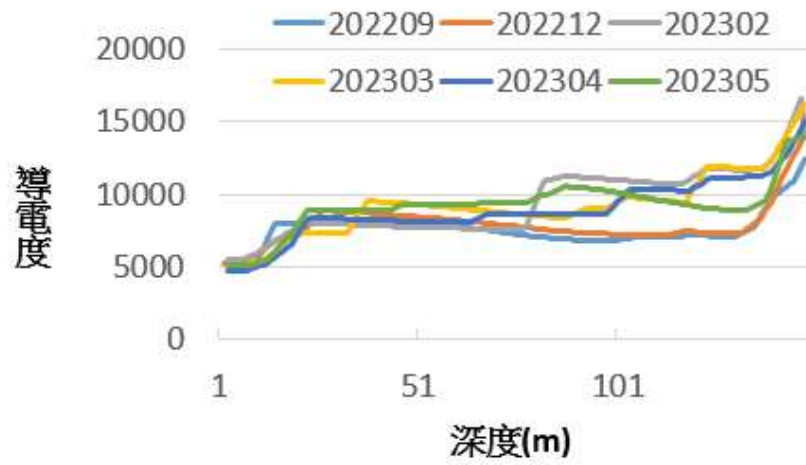


圖 11 港東二井內導電度與深度變化

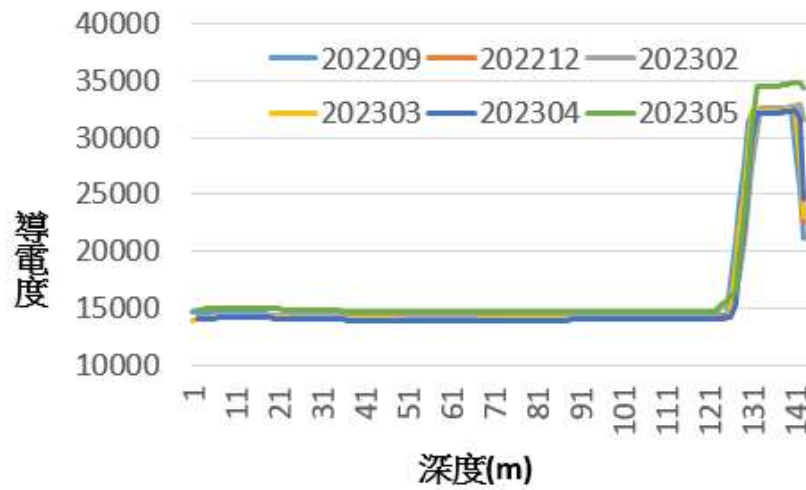


圖 12 東港三井內導電度與深度變化

第三之二含水層在潮州東港剖面共有四口觀測井，豐水期(9-12 月)淡水水頭較高，枯水期(2-5 月)淡水水頭較低(表 9)，此趨勢與其餘含水層相同。淡水/鹽水界線約在崁頂與港東之間，崁頂三井內平均導電度約 320-333 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，都屬於淡水。港東有兩口井觀測本層次，較上方的港東三井井內平均導電度約 39000-43000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，都屬於鹽水，但未達海水程度(圖 13)。較下方的港東四井井內平均導電度約 43000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，開篩段 240-264m，有兩次已達海水程度(圖 14 及表 10)，顯示鹽水/海水邊界已到達港東含水層三之二的下部。

東港四井井內平均導電度約 49000-54000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，有些屬於鹽水，有些已達海水程度。東港四井的導電度與深度變化(圖 15)，導電度基本上也是深部較大、淺部較小，大約介於 48000-56000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，開篩的深度 165-195 m，已經 6 次都達到海水的導電度(表 11)。

表 9 第三之二含水層東港四、港東三及崁頂三淡水水頭及導電度

日期	東港四		港東三		崁頂三	
	淡水水頭	導電度	淡水水頭	導電度	淡水水頭	導電度
202209	4.60	49615	3.78	42431	>8.79	320
202212	4.56	50811	3.59	42118	>8.79	320
202302	3.66	50158	3.25	42087	6.25	333
202303	3.69	50365	3.23	43909	5.53	325
202304	3.68	50142	2.80	39105	4.84	312
202305	4.00	54335	3.21	42114	5.7	329

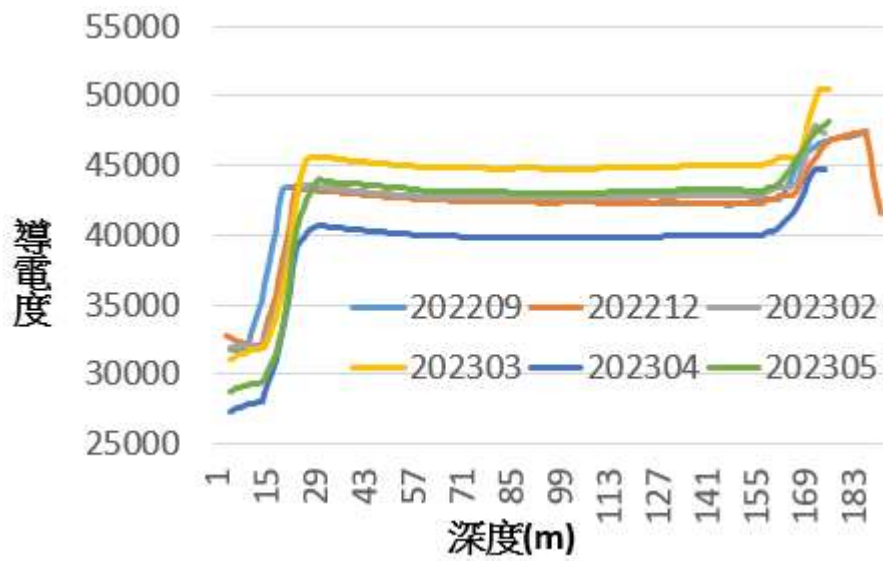


圖 13 港東三井內導電度與深度變化

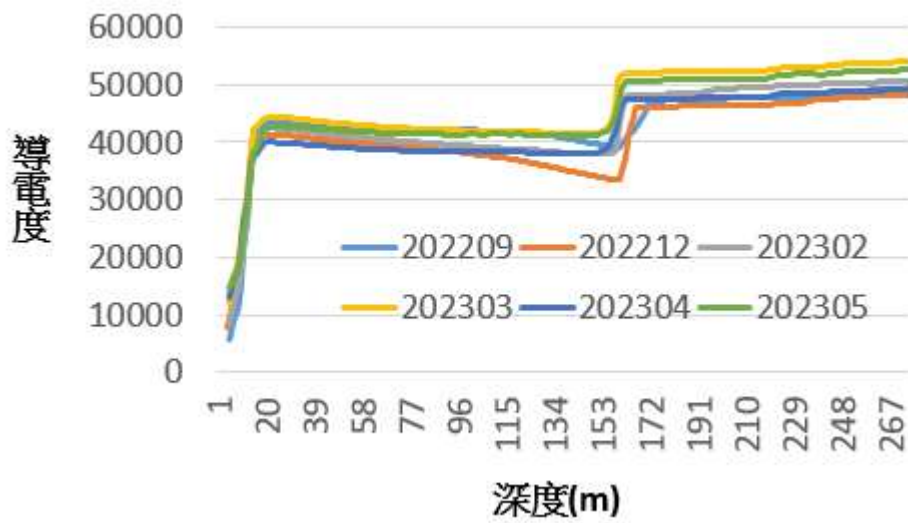


圖 14 港東四井內導電度與深度變化

表 10 港東四井内導電度

深度(m)	202209	202212	202302	202303	202304	202305
240	47962	47443	50090	53163	48627	51806
241	47987	47458	50104	53207	48650	51820
242	48013	47472	50118	53251	48672	51834
243	48039	47504	50131	53295	48695	51848
244	48115	47543	50148	53339	48729	51900
245	48240	47582	50169	53384	48764	51962
246	48366	47622	50191	53430	48799	52023
247	48491	47661	50213	53475	48834	52085
248	48617	47710	50235	53521	48869	52147
249	48729	47766	50250	53566	48881	52177
250	48787	47823	50257	53583	48888	52188
251	48846	47880	50264	53600	48894	52198
252	48904	47913	50270	53617	48900	52209
253	48963	47923	50277	53635	48907	52219
254	49016	47933	50283	53652	48919	52265
255	49022	47942	50296	53664	48932	52276
256	49027	47952	50313	53676	48945	52287
257	49032	47961	50329	53689	48958	52298
258	49038	47981	50345	53701	48971	52309
259	49043	48010	50361	53713	48982	52330
260	49081	48039	50385	53733	48991	52366
261	49122	48067	50409	53753	49000	52403
262	49164	48096	50434	53774	49009	52439
263	49206	48095	50458	53794	49018	52475
264	49247	48105	50489	53814	49035	52499

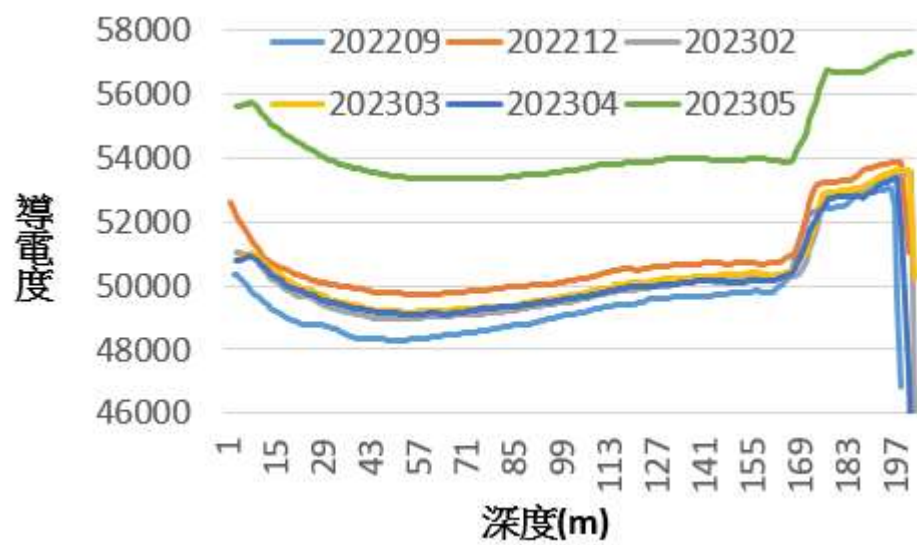


圖 15 東港四井內導電度與深度變化

表 11 東港四井內導電度

深度(m)	202209	202212	202302	202303	202304	202305
165	50141	50851	50256	50386	50298	53882
166	50232	50918	50271	50434	50340	53869
167	50535	50984	50285	50553	50382	53905
168	50930	51051	50312	50678	50523	54129
169	51324	51351	50345	50803	50811	54353
170	51719	51751	50554	50927	51100	54577
171	52114	52150	50808	51052	51388	54818
172	52259	52550	51080	51389	51676	55205
173	52298	52949	51426	51750	51940	55517
174	52337	53193	51771	52111	52107	55828
175	52376	53204	52117	52471	52275	56140
176	52415	53215	52463	52832	52442	56451
177	52429	53226	52808	52943	52610	56731
178	52438	53237	52848	52946	52746	56719
179	52446	53248	52853	52949	52756	56708
180	52454	53257	52859	52953	52767	56696
181	52462	53267	52864	52956	52777	56685
182	52502	53276	52870	52967	52787	56674
183	52575	53286	52868	52984	52790	56673
184	52647	53308	52866	53000	52785	56673
185	52720	53379	52864	53017	52779	56673
186	52790	53451	52862	53033	52774	56673
187	52838	53522	52860	53072	52769	56663
188	52865	53594	52911	53133	52764	56715
189	52891	53661	52996	53195	52847	56773
190	52918	53689	53082	53256	52931	56832
191	52944	53718	53168	53317	53015	56890
192	52970	53746	53246	53372	53099	56949
193	52987	53775	53294	53418	53183	57002
194	53004	53803	53341	53464	53228	57054
195	53021	53820	53389	53509	53263	57105

3-2 其他的觀測井

除了潮州-東港剖面以外，有兩口井已經達到海水的導電度：新園二及崎峰一。此兩口井的導電度都顯示有明顯的季節變化，豐水期較低、枯水期較高。

新園二觀測的層位相當於第三之二含水層，導電度顯示已達到海水/鹽水邊界(圖16及表12)，本研究6次量測值有2次已達到海水的程度，分別是在3月及5月，數據顯示導電度變化很快，一個月的時間變化從 48000 到 54000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

崎峰一觀測的層位相當於第一含水層，導電度顯示已達到海水/鹽水邊界(圖17及表13)，本研究6次量測值有5次已達到海水的程度，從2022年12月到2023年的5月。

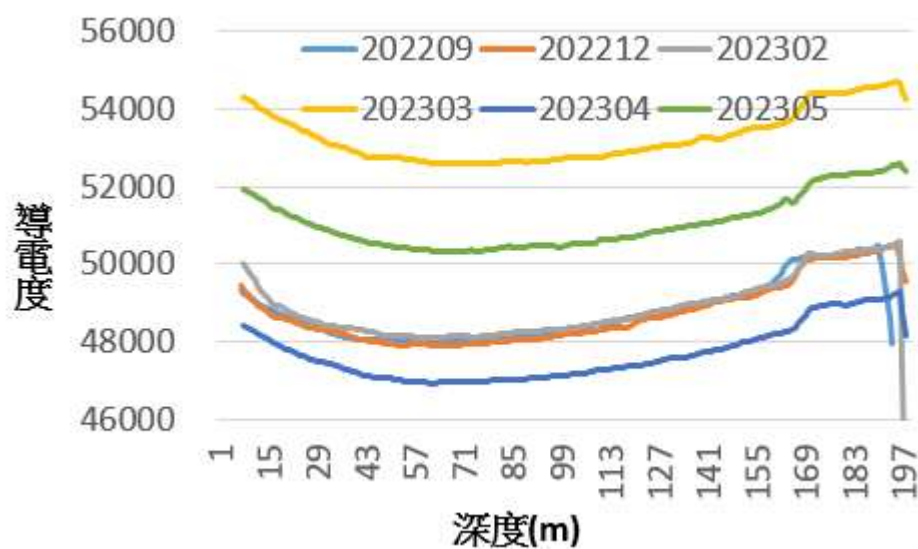


圖 16 新園二井內導電度與深度變化

表 12 新園二井內導電度

深度(m)	202209	202212	202302	202303	202304	202305
165	50120	49572	49647	53716	48299	51582
166	50133	49708	49740	53827	48348	51605
167	50146	49845	49869	53957	48460	51717
168	50159	49981	49997	54087	48572	51830
169	50172	50094	50126	54217	48683	51943
170	50185	50113	50254	54347	48795	52056
171	50196	50132	50256	54392	48871	52144
172	50207	50151	50249	54400	48892	52172
173	50218	50170	50242	54409	48913	52201
174	50229	50189	50236	54417	48934	52229
175	50239	50187	50229	54425	48959	52258
176	50239	50182	50225	54427	48976	52274
177	50238	50177	50246	54425	48972	52274
178	50237	50172	50267	54424	48969	52274
179	50236	50167	50288	54422	48965	52273
180	50235	50173	50309	54420	48961	52273
181	50266	50191	50330	54430	48962	52287
182	50297	50208	50335	54453	48984	52337
183	50328	50226	50338	54475	49006	52357
184	50360	50243	50342	54498	49028	52346
185	50391	50262	50345	54520	49049	52335
186	50328	50281	50348	54537	49071	52327
187	50365	50300	50361	54548	49079	52342
188	50402	50319	50376	54559	49084	52357
189	50439	50338	50392	54569	49088	52372

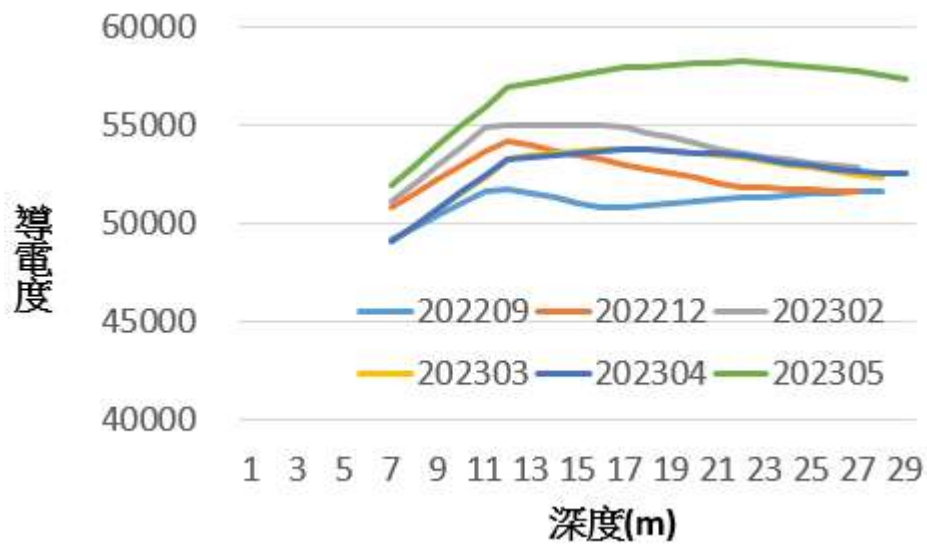


圖 17 崎峰一井內導電度與深度變化

表 13 崎峰一井內導電度

深度(m)	202209	202212	202302	202303	202304	202305
14	51304	53710	55024	53602	53466	57357
15	51074	53480	55041	53673	53582	57545
16	50843	53250	55059	53745	53699	57732
17	50782	53020	54858	53816	53798	57919
18	50890	52788	54603	53763	53739	58011
19	50998	52557	54347	53658	53679	58078
20	51106	52325	54092	53552	53620	58145
21	51214	52094	53836	53447	53561	58212
22	51309	51881	53581	53341	53501	58279
23	51373	51833	53396	53194	53296	58199
24	51438	51786	53258	53006	53091	58081
25	51502	51739	53119	52818	52939	57961
26	51567	51692	52981	52629	52786	57841

4. 結論

潮州東港剖面第一含水層的淡/鹽水邊界(導電度 $1500\mu\text{S}/\text{cm}$)在港東一與東港一之間，本研究6次量測值(2022年9月至2023年5月)，顯示淡/鹽水界線在港東一與東港一之間，港東一豐水期井內水的平均導電度有明顯的變小。鹽水/海水界面(導電度 $52000\mu\text{S}/\text{cm}$)則位於東港一，6次量測有4次有測到海水，枯水期時地下水導電度達到海水的比例較高，推測豐水期時鹽水/海水界面往海側移動，枯水期時往陸側移動，有季節變化，導電度的觀測與水頭觀測的推論是一致的。

潮州東港剖面第二含水層只有一口觀測井(東港二)，6次量測值都有看到淡水/鹽水界線。豐水期時淡水/鹽水邊界在深度 72-74m 附近，枯水期時在深度 78-80m 附近，顯示枯水期時，此邊界仍然往海側移動，表示從陸側來的淡水仍然能夠流向海側。

潮州東港剖面第三之一含水層共有四口觀測井，淡水/鹽水界線約在崁頂與港東之間，港東二井井內平均導電度有明顯的季節變化，豐水期導電度 $7600-7900\mu\text{S}/\text{cm}$ ，枯水期導電度 $8900-9400\mu\text{S}/\text{cm}$ 。鹽水/海水界線則在東港與海岸之間，東港三的導電度並沒有明顯的季節變化。

潮州東港剖面第三之二含水層共有四口觀測井，淡水/鹽水界線約在崁頂三與港東三之間，兩口井的導電度都沒有明顯的季節變化。鹽水/海水邊界則經過東港四及港東四，東港四井內平均導電度有明顯的季節變化。

在潮州東港剖面以外，有兩口井位於鹽水/海水邊界，新園二及崎峰一的導電度都顯示有明顯的季節變化，豐水期較低、枯水期較高。

參考文獻

- 江崇榮及汪中和，1998，屏東平原地下水區之海水入侵，屏東平原地下水及水文地質研討會論文集，第 297-315。
- 江崇榮，2000，屏東平原地下水之海水入侵，經濟部中央地質調查所彙刊，第 13 號，第 25-50 頁。
- 陳文福等，2014，屏東扇頂區地面水與地下水導電度之關係，經濟部中央地質調查所特刊，第 27 號，第 89-110 頁。
- 陳文福，陳瑞娥，陸挽中，黃智昭，王詠綸（2017）名竹盆地及鄰近區域的地溫分布：中央地質調查所特刊，第 29 期，第 121-134 頁。
- 經濟部，2014，水資源領域行動方案，共 171 頁。
- 經濟部中央地質調查所 2014 屏東平原地下水補注地質敏感區畫定計畫書。
- 經濟部水資源局，1998，台灣地區地下水觀測網整體計畫，屏東平原之地下水水

文概況，共 152 頁。

經濟部水資源局，1998，屏東平原地下水及水文地質研討會論文集。

經濟部水利署，2013，地下水觀測資料品質檢核與管理介紹，水利署電子報，第 42 期
經濟部水利署，2017，中華民國 105 年台灣水文年報—第三部分地下水，共 1023 頁。

經濟部水利署，2019，台灣本島及離島地區歷年地下水補注及抽用情形，查詢時間 2019 年 5 月 21 日。<https://www.wra.gov.tw/6950/7170/7356/7488/13319/>

謝永旭等 1998，屏東平原地下水之基本水質試驗分析，屏東平原地下水及水文地質研討會論文集，第 283-296。

Chiu, Y.-C.; Chen, C.-H.; Cheng, Y.-T.; Chen, WF* (2021) Using Freshwater Heads to Analyze Flow Directions in Saline Aquifers of the Pingtung Plain, Taiwan. *Water*, 13, 3491. <https://doi.org/10.3390/w13243491>

Dibaj, M., Javadi, A.A., Akrami, M. *et al.* 2020, Modelling seawater intrusion in the Pingtung coastal aquifer in Taiwan, under the influence of sea-level rise and changing abstraction regime. *Hydrogeol J.*

Huang, P.S.; Chiu, Y.C. 2018, A Simulation-Optimization Model for Seawater Intrusion Management at Pingtung Coastal Area, Taiwan. *Water*, 10, 251.

Post V, Kooi H, Simmons C, 2007, Using hydraulic head measurements in variable-density ground water flow analyses, *Ground Water* 45/6, 664-671.

Post V, Abarca E, 2010, Preface: saltwater and freshwater interactions in coastal aquifers, *Hydrogeology Journal* 18, 1-4.

111年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：陳文福			計畫編號：111-2116-M-041-001-		
計畫名稱：屏東地下水鹽化區觀測井導電度之季節變化					
成果項目			量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)
國內	學術性論文	期刊論文	0	篇	
		研討會論文	0		
		專書	0	本	
		專書論文	0	章	
		技術報告	0	篇	
		其他	0	篇	
國外	學術性論文	期刊論文	0	篇	
		研討會論文	0		
		專書	0	本	
		專書論文	0	章	
		技術報告	0	篇	
		其他	0	篇	
參與計畫人力	本國籍	大專生	0	人次	
		碩士生	1		訓練研究生地下水鹽化監測之知識與技術
		博士生	0		
		博士級研究人員	0		
		專任人員	0		
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士級研究人員	0		
		專任人員	0		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)					