

以全面向角度探討水安全計畫(WSP)-以
淨水廠鎳汞題為例

講師：林進榮 教授

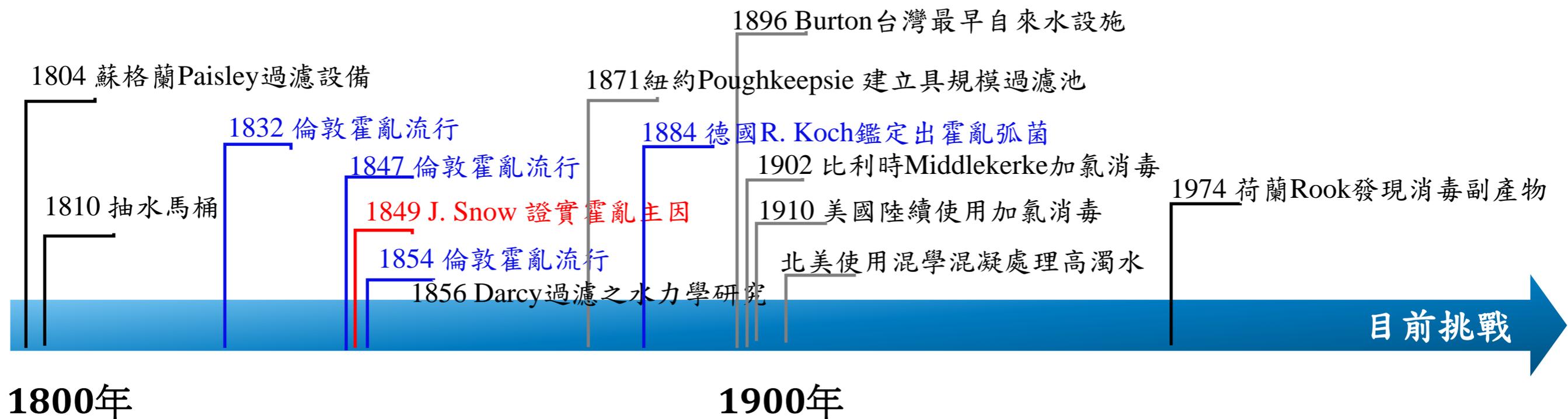
單位：國立宜蘭大學環境工程學系

111年度第019-020期「水安全計畫實務訓練班」



自來水百年的事業

- 游牧民族會用溝渠、空木、虹吸管引水或鑿井取水，甚至開始用銅器煮水、用日光消毒、流經煤炭過濾水等。
- 西元98年，羅馬開始用蓄水池沈澱水質。
- 西元800年，阿拉伯人開始利用蒸餾法淨水。
- 西元1627年，英國開始用混凝、過濾、煮沸及蒸餾法淨水，改善水質。
- 1685年，義大利的 L.A. Porzio 開始用沈澱及砂濾程序處理水。



20世紀最偉大的工程學成就 _第四名(自來水工程)_



Greatest Engineering Achievements
OF THE 20TH CENTURY

[◆ About](#) [◆ Timeline](#) [◆ The Book](#)

Welcome!

How many of the 20th century's greatest engineering achievements will you use today? A car? Computer? Telephone? Explore our list of the top 20 achievements and learn how engineering shaped a century and changed the world.

1. Electrification
2. Automobile
3. Airplane
4. Water Supply and Distribution
5. Electronics
6. Radio and Television
7. Agricultural Mechanization
8. Computers
9. Telephone
10. Air Conditioning and Refrigeration

20



11. Highways
12. Spacecraft
13. Internet
14. Imaging
15. Household Appliances
16. Health Technologies
17. Petroleum and Petrochemical Technologies
18. Laser and Fiber Optics
19. Nuclear Technologies
20. High-performance Materials



Copyright © 2022 National Academy of Sciences on behalf of the National Academy of Engineering.

Greatest Engineering Achievements of the 20th Century

目前的挑戰

- 消毒副產物
- 農藥與有機溶劑
- 微量重金屬物質
- 藻類的代謝物
- 致病性原生動物
- 節能減碳



水安全計畫 (Water Safety Plan, WSP)

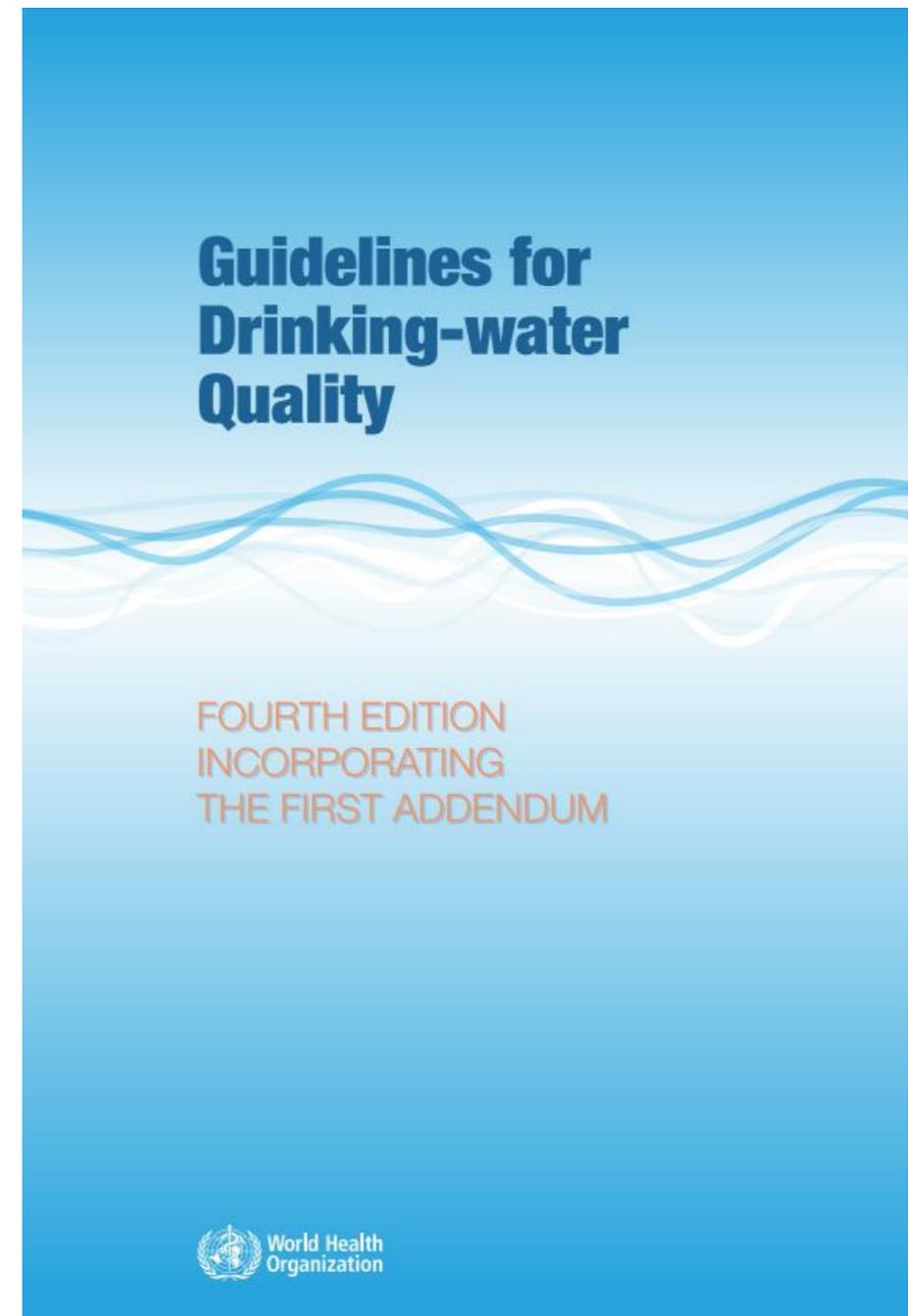
WSP中供應者須確保飲用水安全的關鍵三要素有：

- 系統評估 (a system assessment)
- 有效操作監控 (effective operational monitoring)
- 管理與溝通 (management and communication)

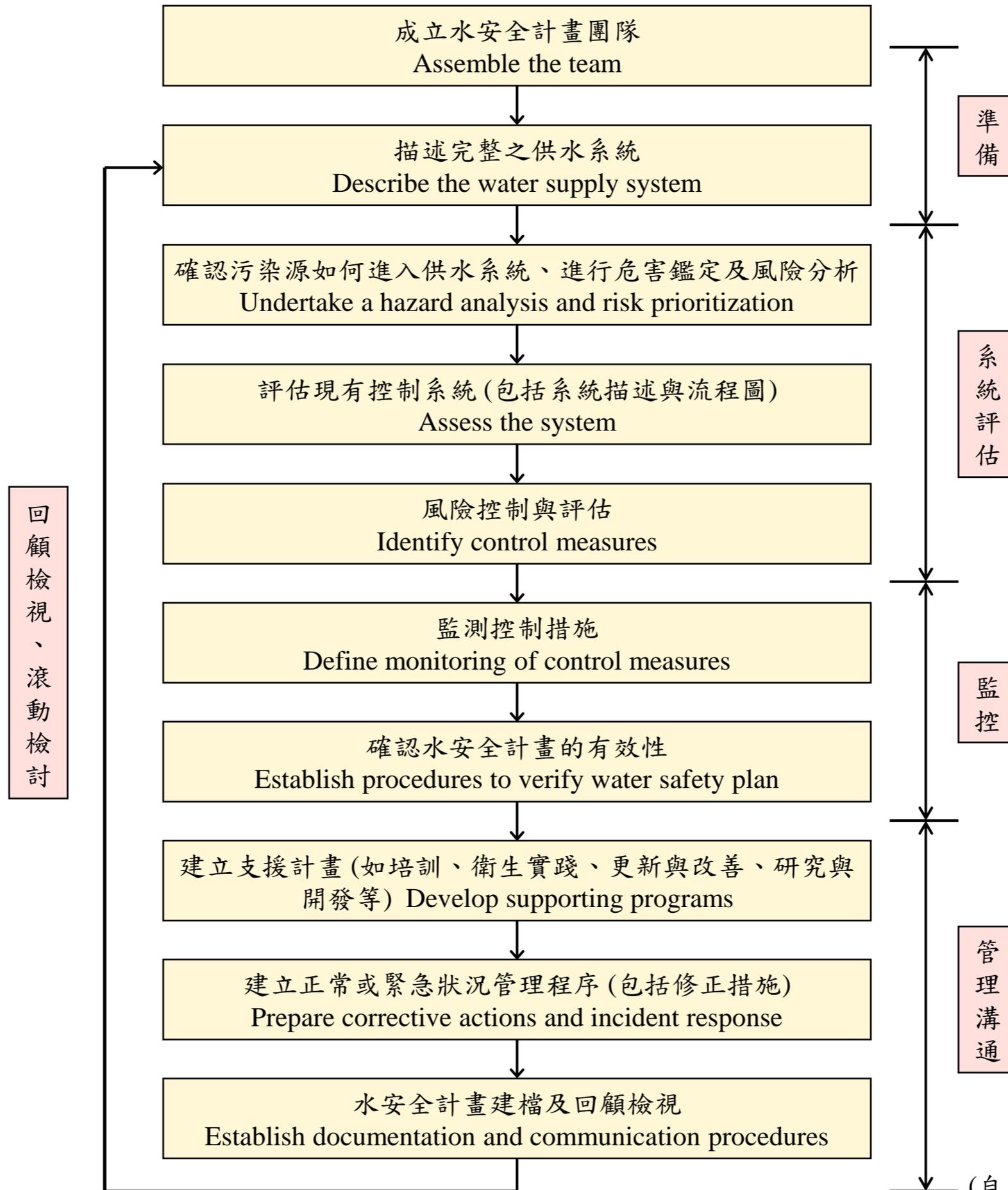
V.S

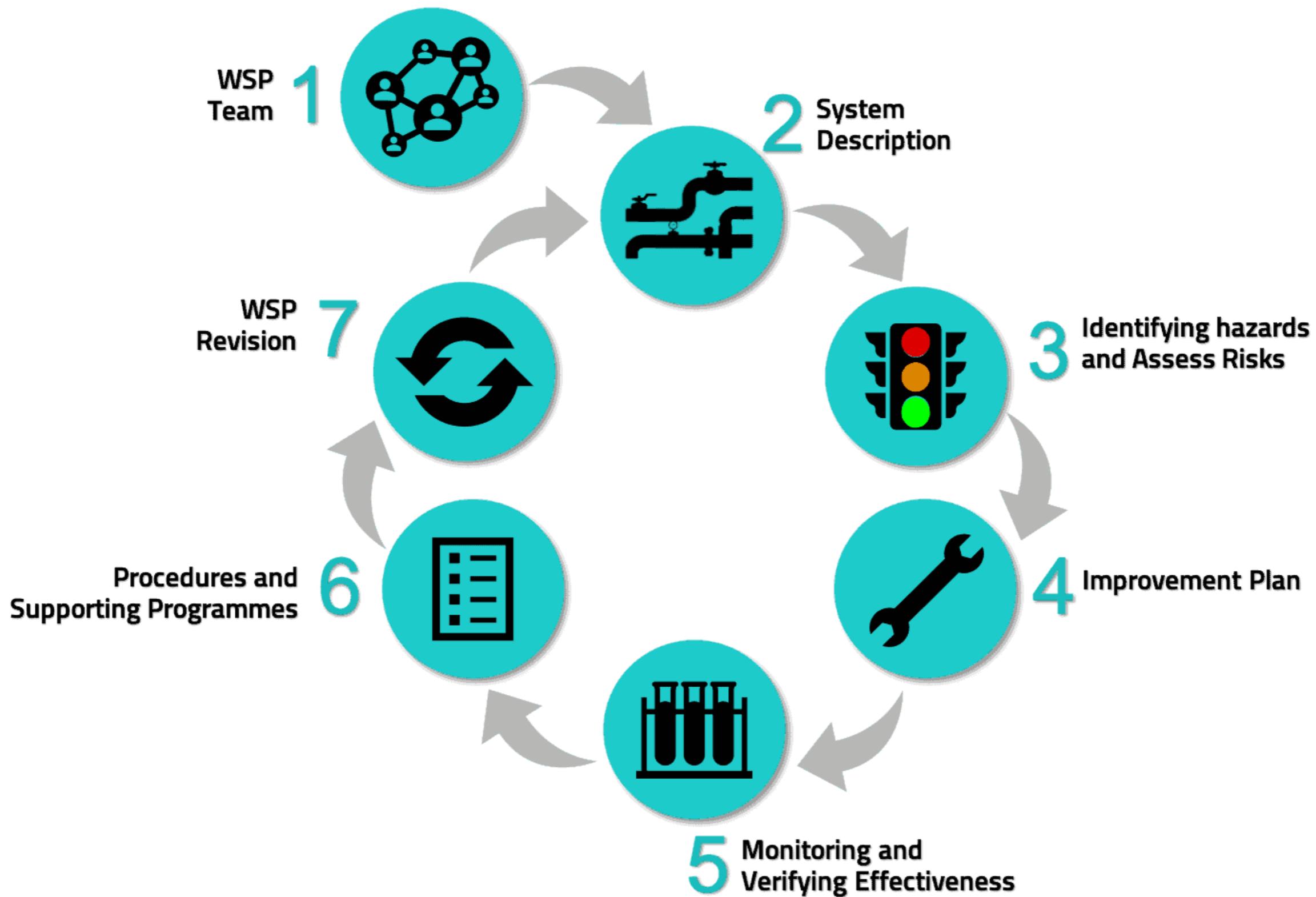
全方位的解決方案 (Total Solution)

意指提供客戶在產品之設計及生產流程中所有需要之技術資訊，提供客戶從產品設計、製造生產、運送、全球維修等，從頭負責到尾的完整服務。



水安全計畫推行步驟





打造智慧監控、調配、決策及應用的智慧型公共給水系統，達成自來水使用最佳化之目標。

飲用水水質標準

法規體系

飲用水管理

頒布日期

民國 87 年 02 月 04 日

修正日期

民國 106 年 01 月 10 日

※施行日期：民國 109 年 07 月 01 日



本案關注的
修正內容

修正條文

第 3 條第三款化學性標準
(一) 第八次目「**鎳**」管制標準最大限值為 0.0 七毫克/公升，自一百零七年七月一日施行；自一百零九年七月一日起，最大限值為 **0.0 二毫克/公升**。

(二) 第九次目「**汞**」管制標準最大限值為 **0.0 0 一毫克/公升**，自一百零九年七月一日施行。

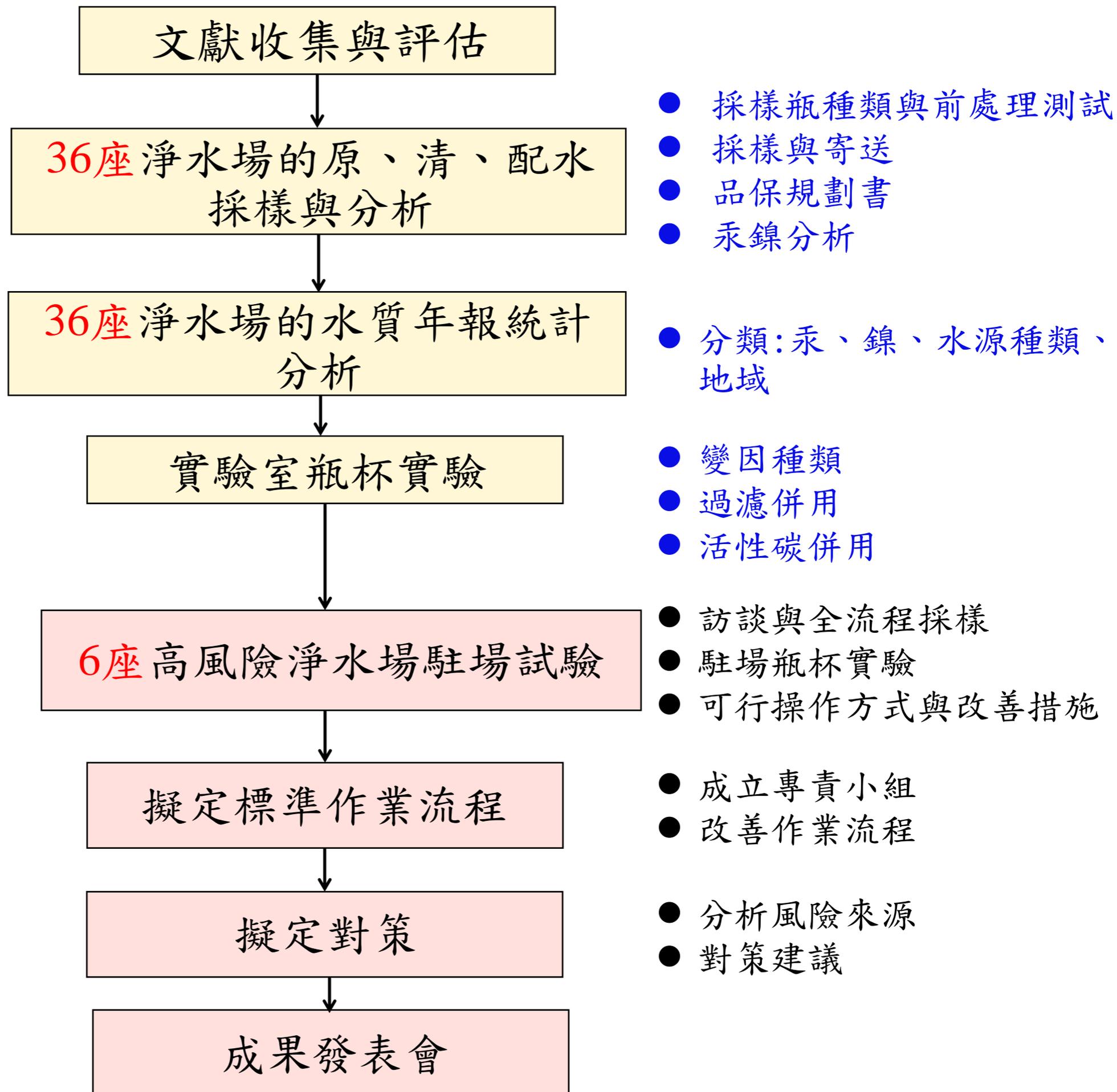
現行條文

第 3 條第三款化學性標準
(一) 第八次目「**鎳**」管制標準最大限值為 0.一毫克/公升。

(二) 第九次目「**汞**」管制標準最大限值為 **0.0 0 二毫克/公升**。

考量

我國採用**總汞限值**，為避免**有機汞**存在總汞中使危害風險增加因此，加嚴管制標準至 0.001 mg/L；在鎳的項目中，考量本國工業使用鎳的**量多且用途廣**，基於風險預防的精神，將管制標準從嚴修訂至 0.02 mg/L。





淨水場的原、清、配水採樣與分析

現場追蹤報告表 請將此單與水樣一起寄回

現場樣品編號	摘要	日期時間	濁度	餘氯	pH值	取樣人員
040J1A-1	-	108.12.25 10:38	0.46	-	7.13	許淑惠
040J1A-2	-	108.12.25 10:38	0.46	-	7.13	許淑惠
040J1B-1	-	108.12.25 10:38	0.15	0.61	7.48	許淑惠
040J1B-2	-	108.12.25 10:38	0.15	0.61	7.48	許淑惠
040J1B-3	-	108.12.25				
040J1B-4	-	108.12.25				
040J1C-1	-	108.12.25 09:45	0.12	0.52	7.44	許淑惠
040J1C-2	-	108.12.25 09:45	0.17	0.52	7.30	許淑惠

懇請詳實紀錄，以利之後實驗與分析，如果能拍照紀錄並提供檔案更佳，謝謝

採樣流程紀錄 請將此單與水樣一起寄回

採樣場區: 大甲淨水場 日期: 108.12.25

一、原水

1. 水源: 13井 2. 水溫: 20.0°C

3. 攪拌是否施工: 否

4. 園是否很大: 微大

5. 是否空污警報: 否

二、清水

1. 水源: 1.7號井 2. 水溫: 20.0°C

3. 攪拌是否施工: 否

4. 園是否很大: 微大

5. 是否空污警報: 否

三、配水 地址: 大甲區中山路一段890號

1. 水源: 1.7號井 2. 水溫: 20.0°C

3. 攪拌是否施工: 否

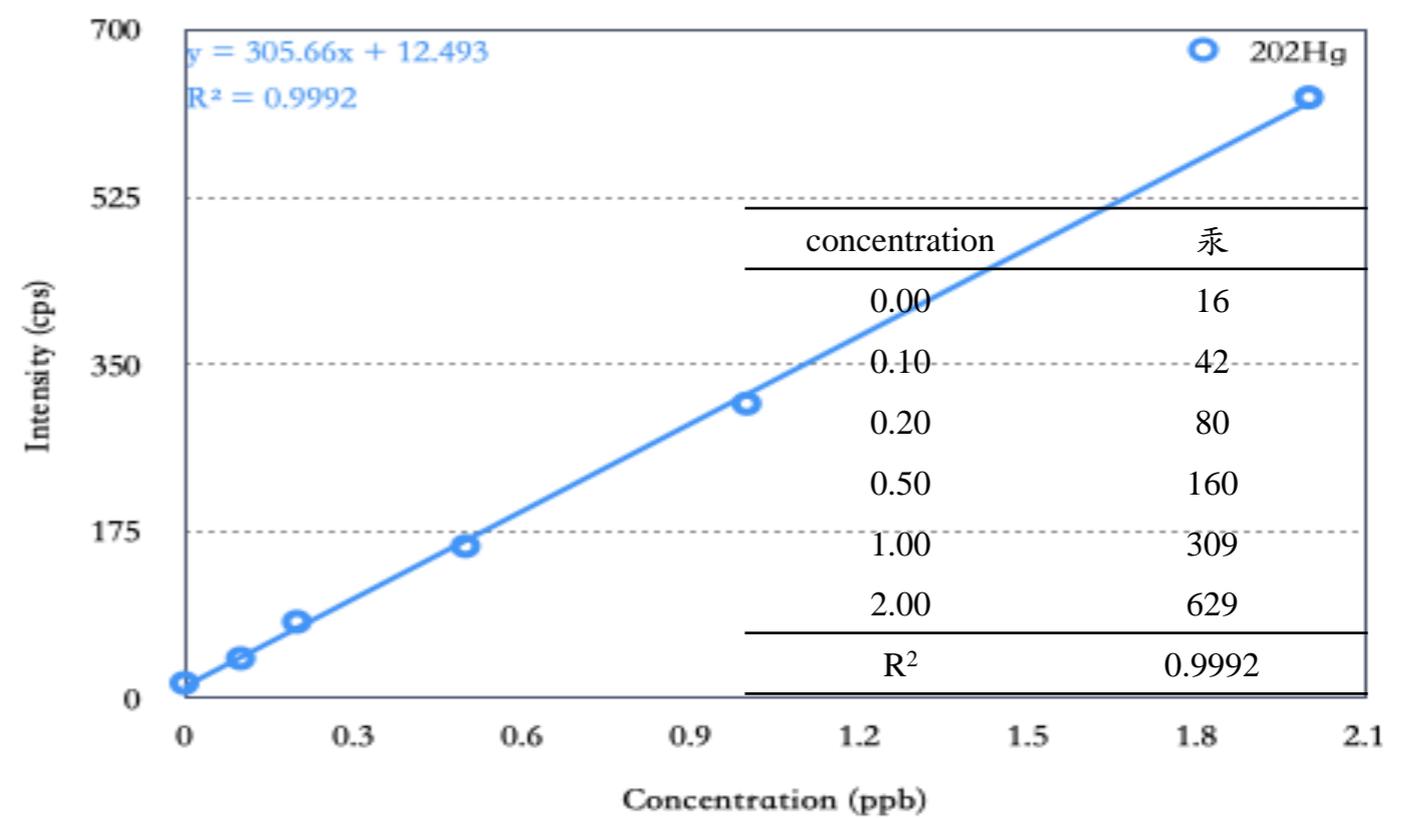
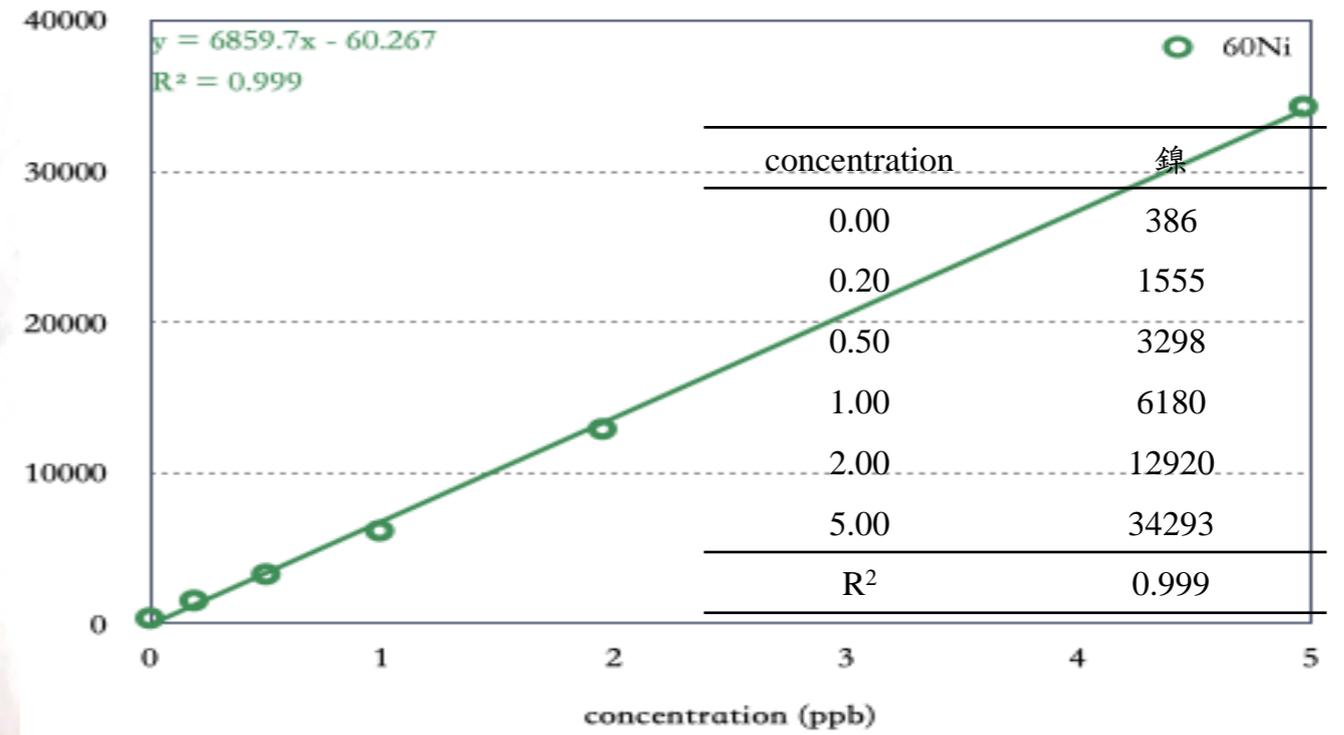
4. 園是否很大: 微大

5. 是否空污警報: 否

懇請詳實紀錄採樣細節，請註解採樣當天特殊的情形，如：是否空污警報？風是否很大？以及氣溫等，以利之後實驗與分析，如果能拍照紀錄並提供檔案更佳，謝謝

採樣紀錄表

檢量線





淨水場的原、清、配水採樣與分析

方法偵測極限 (NIEA-PA107)

方法偵測極限 (Method Detection Limit, MDL) 指待測物在某一基質、檢測方法所能測得的最低濃度，在 99% 之可信度下待測物之濃度大於 0。MDL 測定方法：

(1) 預估方法偵測極限

1. 相當於儀器訊噪比為 2.5 至 5.0 之濃度
2. 於適當基質中，儀器重複測定值之標準差的 3 倍濃度
3. 待測物檢量線於低濃度，斜率呈明顯變化之濃度
4. 已知相當於 IDL 濃度值
5. 曾經測得之 MDL

(2) 試劑水基質待測物之 MDL

1. 準備試劑水，不得有待測物
2. 試劑水中添加待測物配製成 7 個待測樣品，使濃度為預估 MDL 之 1 至 5 倍
3. 分析 7 個待測樣品 (分析步驟相同)，並依分析方法計算濃度
4. 如下計算 7 次測定值之標準偏差 S

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n - 1}$$

X_i = 待測樣品個別測定值

\bar{X} = 待測樣品測定值平均

n = 測定次數 (7 次)

5. 計算方法偵測極限：MDL = 3 × S



淨水場的原、清、配水採樣與分析

方法偵測極限 (NIEA-PA107)

(3) 確認MDL預估值及合理性

1. 如依預估MDL值測得的MDL，須添加由 (2) 計算得到的MDL相當濃度 (1~2倍濃度) 之待測物，執行第二次MDL測定
2. 利用第二次或之後執行之MDL之 S^2 值與前次MDL之 S^2 ，計算F比值。F比值之計算係將較大的 S^2 作為分子， S_A^2 ，較小值為分母 S_B^2 ，兩者相除求得。若 $S_A^2 / S_B^2 < 3.05$ ，則利用下述公式計算共同標準偏差 (Pooled standard deviation, S_{pooled})：

$$S_{pooled} = \left[\frac{6S_A^2 + 6S_B^2}{12} \right]^{1/2}$$

若 $S_A^2 / S_B^2 > 3.05$ ，則重新添加相當於本次測之MDL濃度，重複執行至 $S_A^2 / S_B^2 < 3.05$ 為止。

3. 如添加本次測得之MDL濃度之待測物於樣品中，仍無法得到定性之結果，則MDL可能介於本次與前次求得可得到定性結果MDL之間的濃度，由檢驗室就之間濃度自行擇定適當濃度作為MDL
4. 利用計算得到之 S_{pooled} 值，計算最後之MDL值：

$$MDL = 2.681 \times S_{pooled}$$



淨水場的原、清、配水採樣與分析

方法偵測極限 (NIEA-PA107)

單位：μg/L

汞	預估MDL	確認MDL	鎳	預估MDL	確認MDL
1	0.13	0.09	1	0.06	0.07
2	0.12	0.09	2	0.06	0.06
3	0.12	0.08	3	0.05	0.07
4	0.11	0.08	4	0.07	0.06
5	0.11	0.07	5	0.05	0.06
6	0.13	0.07	6	0.04	0.05
7	0.09	0.07	7	0.03	0.05
標準差	0.0140	0.0090	標準差	0.0135	0.0082
偵測極限	0.0419	0.0270	偵測極限	0.0404	0.0245
S_A^2/S_B^2	< 3.05	2.41	S_A^2/S_B^2	<3.05	2.71
S_{pooled}	[1]	0.01175	S_{pooled}	[1]	0.0111
MDL	[2]	0.0315	MDL	[2]	0.0298
QDL	MDL*10/3	0.1050	QDL	MDL*10/3	0.0994
MDL	(mg/L)	0.00003	MDL	(mg/L)	0.00003
QDL	(mg/L)	0.00011	QDL	(mg/L)	0.00010

[1] $S_{pooled} = [(6S_A^2 + 6S_B^2)/12]^{1/2}$

[2] $MDL = 2.681 * S_{pooled}$



淨水場的原、清、配水採樣與分析

重複樣品分析、查核樣品分析、添加樣品分析 (NIEA-PA104)

品保目標	待測元素	樣品前	第一批次	第二批次	第三批次
第二來源 標準品 80%~120%	汞	107.23	--	--	--
	鎳	114.42	--	--	--
檢量線查核 ±10%	汞	--	-6.67	-6.67	-6.21
	鎳	--	7.40	-1.62	5.27
查核樣品 80%~120%	汞	--	104.71	103.36	104.48
	鎳	--	91.51	88.22	98.88
重複樣品 <20%	汞	--	9.52	18.18	0.00
	鎳	--	0.00	0.00	0.00
添加樣品 80%~120%	汞	--	89.00	83.00	82.00
	鎳	--	101.50	100.00	102.00



淨水場的原、清、配水採樣與分析

重複樣品分析、添加樣品分析 (NIEA-PA104)

重複樣品：重複樣品分析係將重複樣品依相同前處理及分析步驟執行檢測。相對差異百分比應小於 20%

添加樣品：添加樣品分析係指將添加樣品依與待測樣品相同前處理及分析步驟執行檢測。於樣品中添加 0.001mg/L 汞以及 0.002 mg/L 鎳，回收率應介於 80% ~ 120%

$$\text{相對差異百分比(\%)} = \frac{|X_1 - X_2|}{\frac{1}{2}(X_1 + X_2)} \times 100$$

$$\text{回收率(\%)} = \frac{\text{添加樣品濃度} - \text{重複樣品濃度}}{\text{配製添加濃度}} \times 100$$

水樣編號	水樣種類	汞	鎳
D-1 (草屯二)	清水 (mg/L)	0.00011	0.00021
	重複 (mg/L)	0.00010	0.00021
	相對差異百分比 (%)	9.52	0.00

水樣編號	水樣種類	汞	鎳
D-1 (草屯二)	清水 (mg/L)	0.00011	0.00021
	添加 (mg/L)	0.00100	0.00224
	回收率 (%)	89.00	101.50



淨水場的原、清、配水採樣與分析

空白樣品分析(NIEA-PA101)

方法空白：除須含有與製備樣品時所使用之相同試劑外，製備過程亦須與樣品前處理流程相同。

運送空白：在檢驗室中將不含待測物之試劑水置入與盛裝待測樣品相同之採樣容器內，將瓶蓋旋緊攜至採樣地點，但在現場不開封，檢測值應小於2倍方法偵測極限，即 0.00008 mg/L。

現場空白：在檢驗室中將不含待測物之試劑水置入與盛裝待測樣品相同之採樣容器或其他適當之容器內，將瓶蓋旋緊攜至採樣地點，在現場開封並模擬採樣過程，但不實際採樣；密封後，再與待測樣品同時攜回檢驗室，檢測值應小於2倍方法偵測極限，即 0.00008 mg/L。

單位：mg/L

編號	水樣種類	汞	鎳	水樣種類	汞	鎳	水樣種類	汞	鎳
1	方法空白	ND	ND	運送空白	0.00006*	ND	現場空白	ND	ND
2	方法空白	ND	ND	運送空白	ND	ND	現場空白	0.00004*	ND



淨水場的原、清、配水採樣與分析

污染物	計畫數據	平均值	標準差	最大值	中位數	最小值	ND數	樣本數
鎳 (mg/L)	地面水	0.00059	0.00060	0.00259	0.00030	0.00002	0	36
	地下水	0.00059	0.00204	0.0165	0.00020	0.00002	10	66
	地面與地下水	0.00036	0.00032	0.00096	0.00029	0.00009	0	6
	全	0.00058	0.00163	0.0165	0.00025	0.00002	10	108
汞 (mg/L)	地面水	0.00016	0.00011	0.00045	0.00014	0.00002	3	36
	地下水	0.00011	0.00008	0.00030	0.00009	0.00002	13	66
	地面與地下水	0.00021	0.00009	0.00029	0.00023	0.00002	0	6
	全	0.00013	0.00010	0.00045	0.00002	0.00002	16	108

北部區域

鎳 最大值: 板新淨水場三期原水 0.00113 mg/L
汞 最大值: 芎林淨水場配水 0.00018 mg/L

中部區域

鎳 最大值: 員林第三淨水場清水 0.0165 mg/L
汞 最大值: 粗坑淨水場原水 0.00045 mg/L

南部區域

鎳 最大值: 五里埔淨水場原水 0.00149 mg/L
汞 最大值: 七美淨水場原水 0.00018 mg/L



淨水場原、清、配水統計分析

本研究依據台水公司所提供之 **103年至108年間** 本計畫之 36 座淨水場數據進行分析。水源來源可分為地下水、地面水以及地面與地下水三種，分別有 **22、12 及 2 座**，分別統計不同類型水源之原水、混合後原水、清水以及配水之濃度以及其數據分布狀況。

歷史數據統計

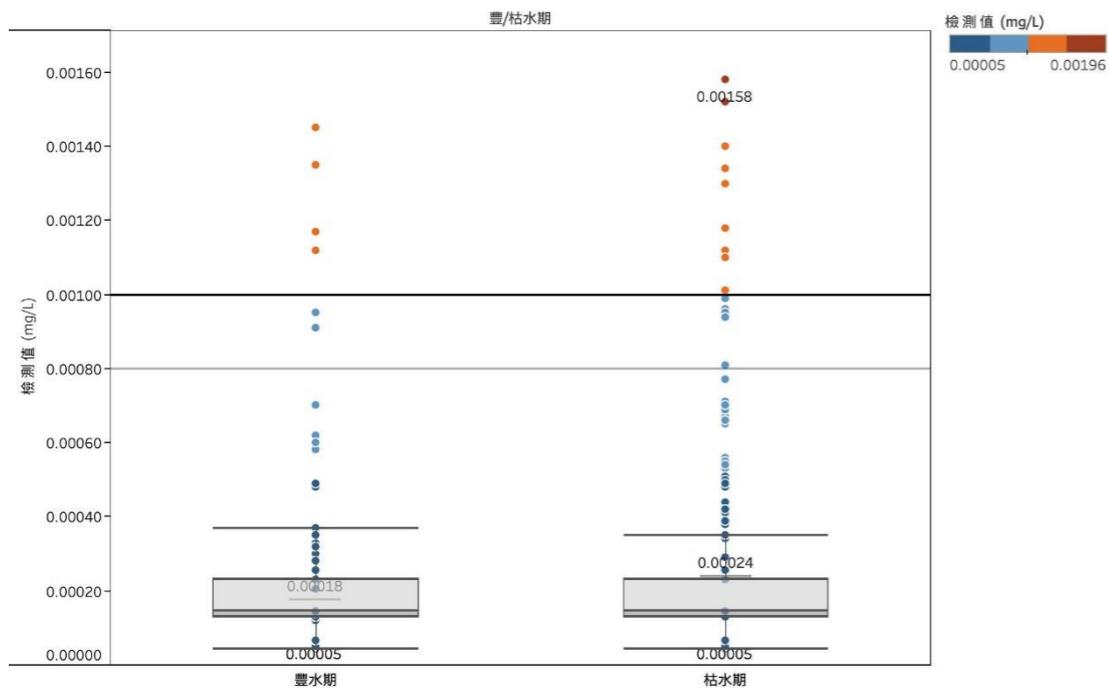
污染物	歷史數據	平均值	標準差	最大值	中位數	最小值	ND數	樣本數
鎳 (mg/L)	地面水	0.00119	0.00245	0.0499	0.00034	0.00014	631	1018
	地下水	0.00174	0.00512	0.0720	0.00034	0.00014	479	893
	地面與地下水	0.00110	0.00260	0.0193	0.00034	0.00014	35	60
	全	0.00144	0.00390	0.0720	0.00034	0.00014	1145	1971
汞 (mg/L)	地面水	0.00021	0.00018	0.00176	0.00015	0.00005	962	1058
	地下水	0.00023	0.00022	0.00176	0.00015	0.00005	817	956
	地面與地下水	0.00020	0.00022	0.00150	0.00015	0.00005	52	72
	全	0.00022	0.00020	0.00176	0.00015	0.00005	1831	2086



淨水場原、清、配水統計分析

水源豐、枯水期—汞數據

汞_水源



Rank Sum Test

汞

水源(全)

顯著差異

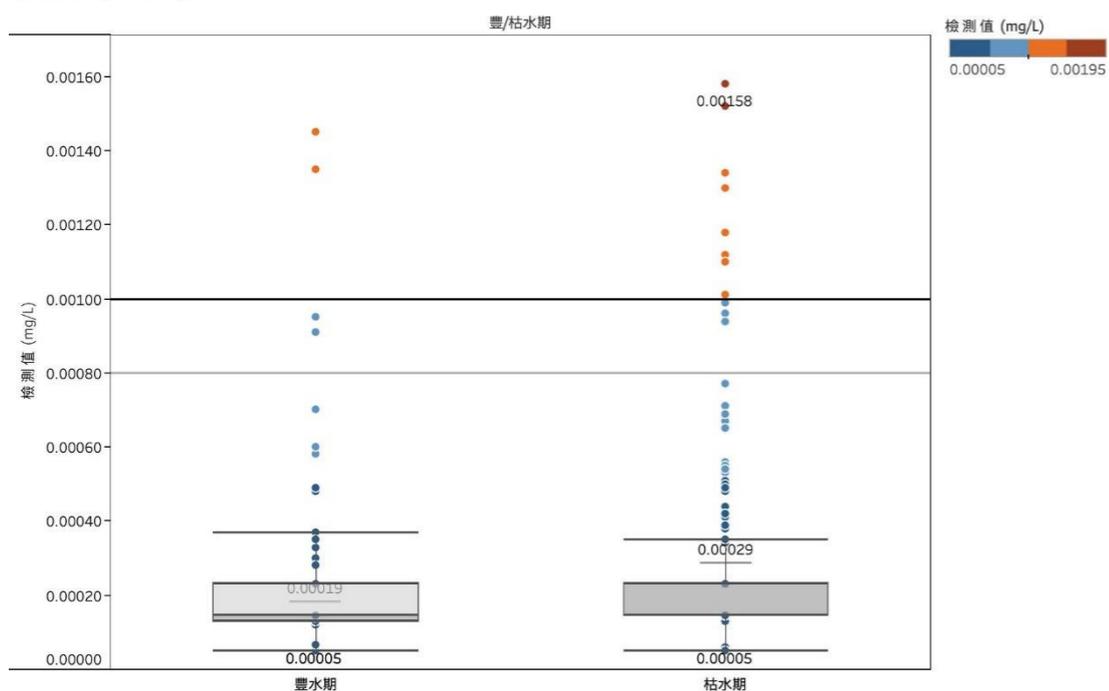
水源(地面水)

X

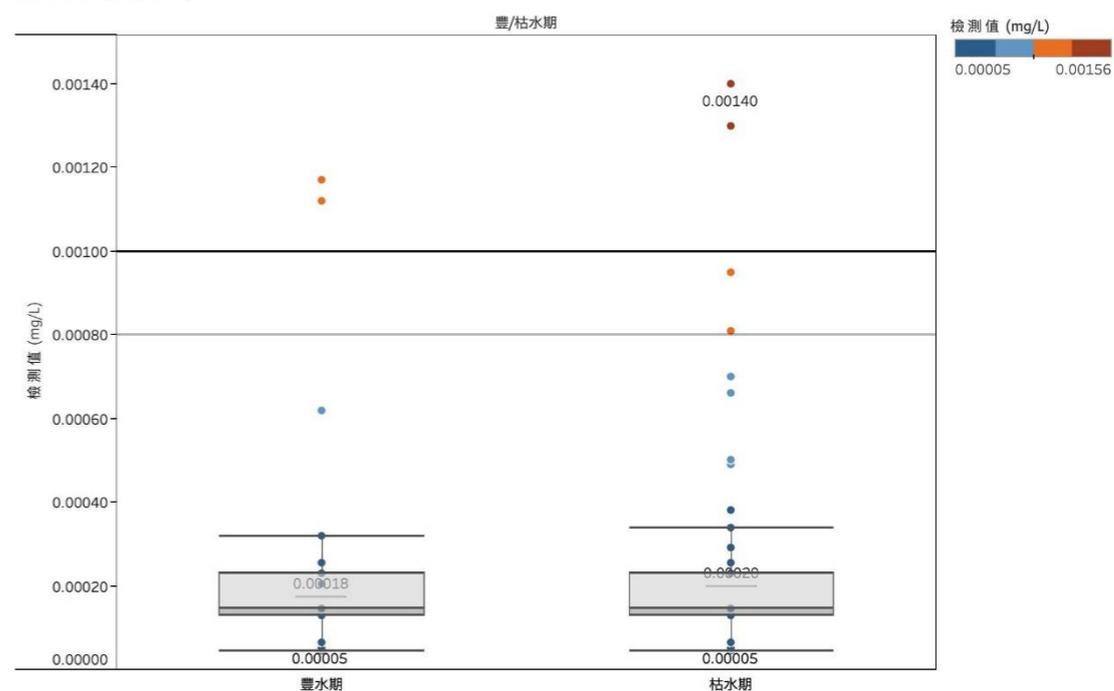
水源(地下水)

顯著差異

汞_水源(地下水)



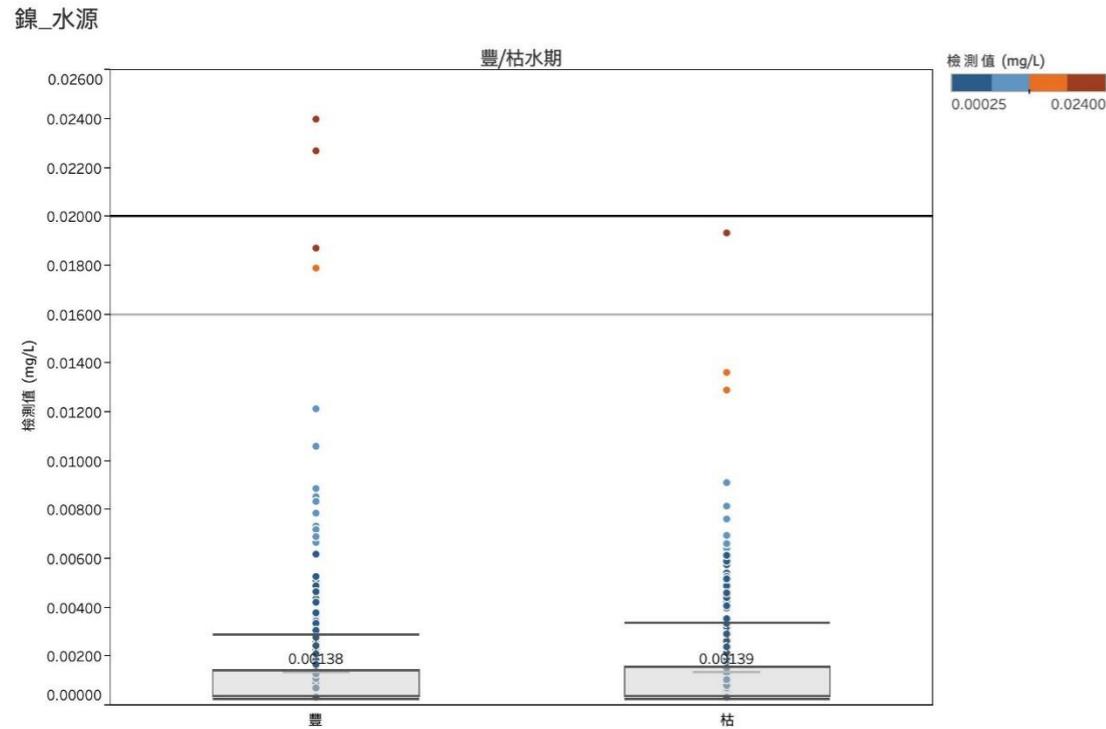
汞_水源(地面水)





淨水場原、清、配水統計分析

水源豐、枯水期—鎳數據



Rank Sum Test

鎳

水源(全)

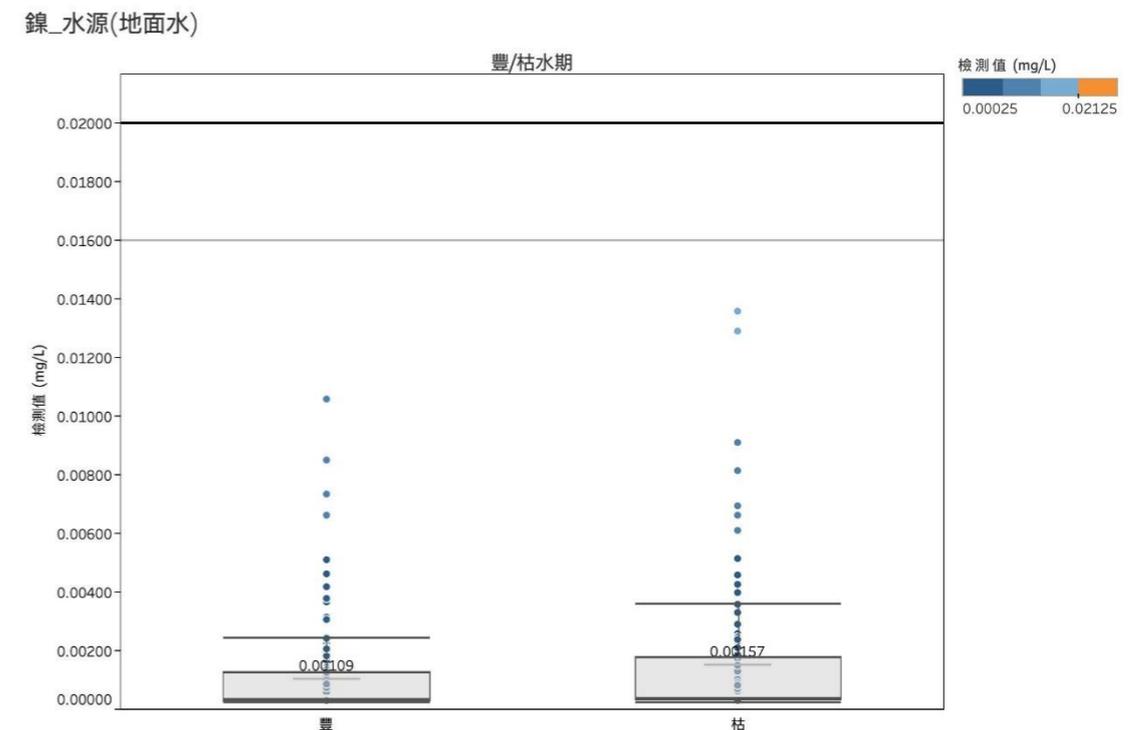
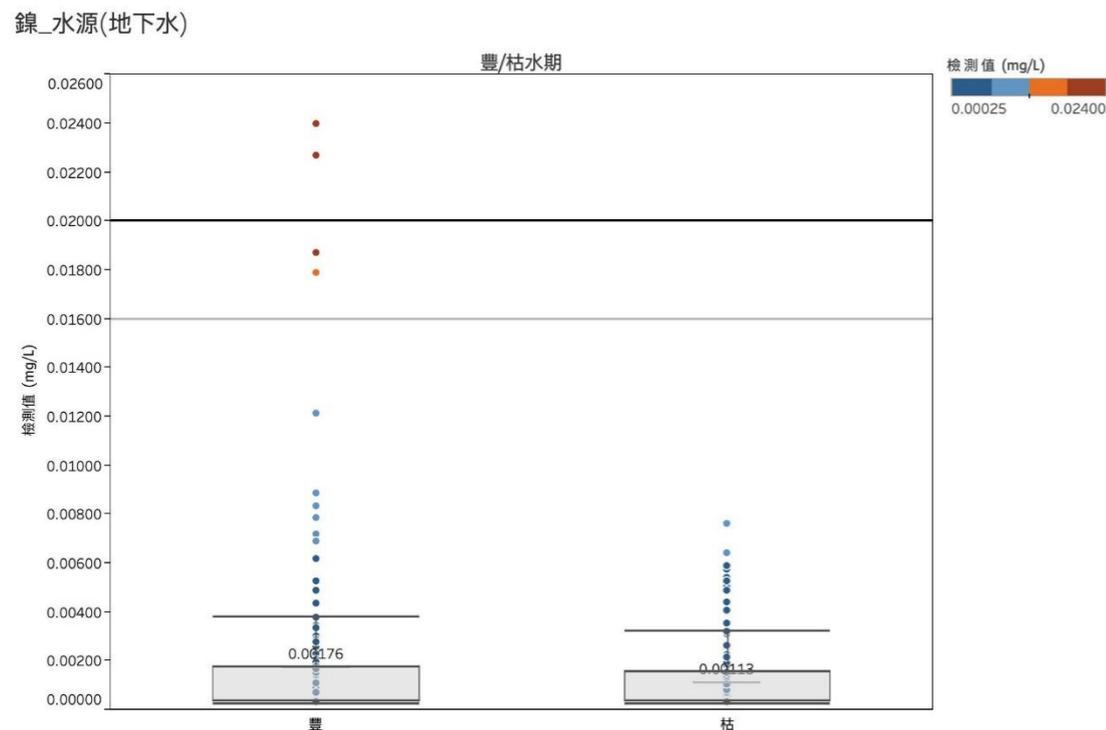
顯著差異

水源(地面水)

顯著差異

水源(地下水)

X





淨水場原、清、配水統計分析

103 年至 108 年台水公司歷史資料，水源豐枯水期統計檢定

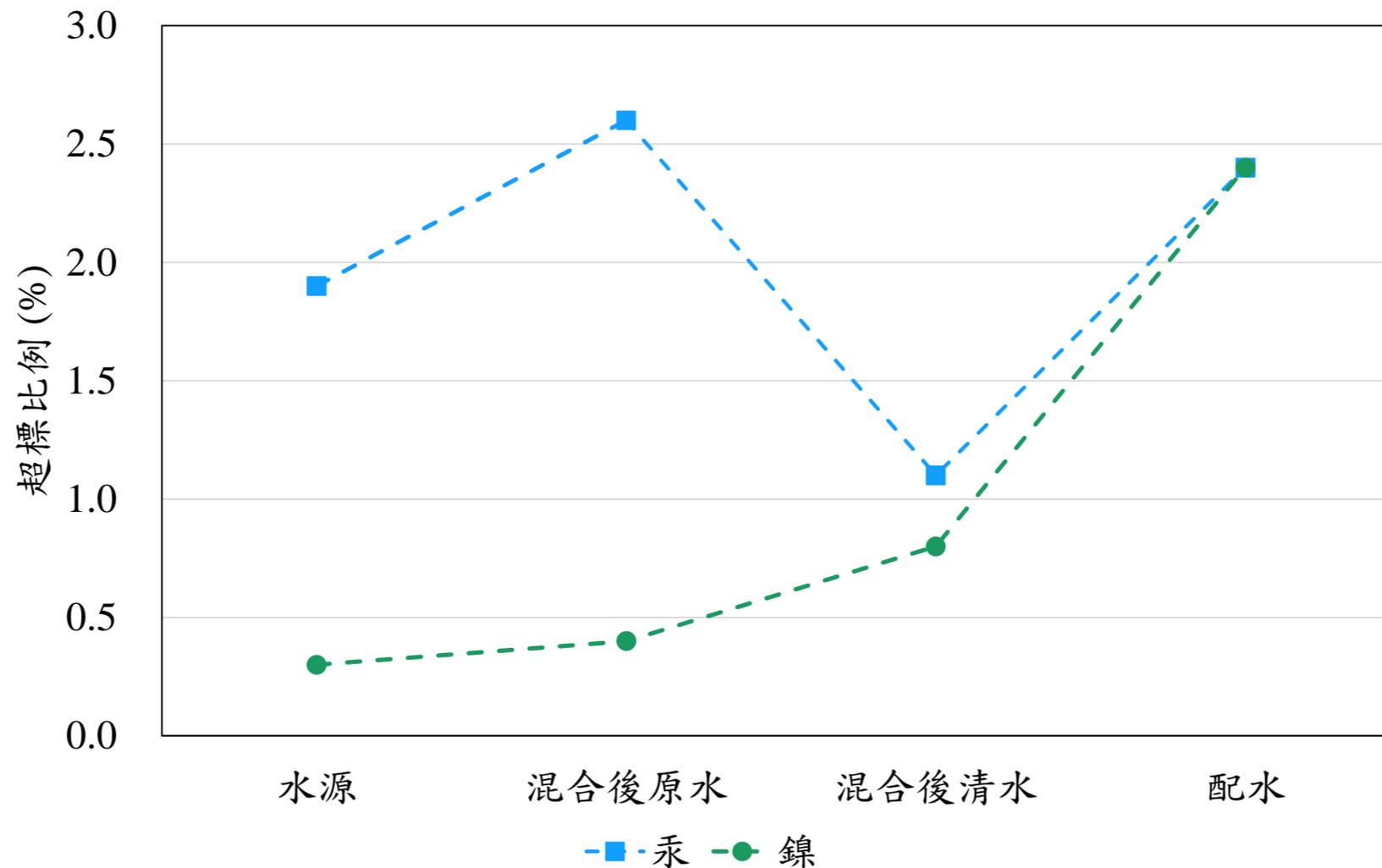
Rank Sum Test	汞	鎳
水源 (全)	顯著差異 $p \leq 0.001$	顯著差異 $p = 0.005$
水源 (地面水)	X $p = 0.836$	顯著差異 $p = 0.009$
水源 (地下水)	顯著差異 $p \leq 0.001$	X $p = 0.235$

$p \leq 0.05 \Rightarrow$ 數據分布非隨機，豐枯水期之間有顯著差異。



淨水場原、清、配水統計分析

歷史數據超標比例



超標比例	水源	混合後原水	混合後清水	配水
汞	1.9 (14/756)	2.6 (14/543)	1.1 (6/536)	2.4 (6/251)
鎳	0.3 (2/699)	0.4 (2/481)	0.8 (4/536)	2.4 (6/255)



實驗室杯瓶實驗

- 採用台水第三區處的化學混凝劑(硫酸鋁(**Alum**)、多元氯化鋁(**PACl**)以及氯化鐵(**FeCl₃**))。
- 第七區處的粉末狀活性碳(**PAC**)。
- 以六連式杯瓶試驗機先150 rpm快混3分鐘(Gt值約48000)，再調為30 rpm慢混15分鐘(Gt值約20000)，移高攪拌槳後靜置20分鐘，再收集上澄液200毫升。
- 首先分析**pH值**與**濁度值**，以硝酸酸化至 $\text{pH} \leq 2$ ，採用ICP-MS分析**汞**、**鎳**濃度。

變因探討

4-3-1 化學混凝劑的**種類與濃度**

4-3-3 初始濁度值

4-3-5 **接觸時間**

4-3-7 添加鹼度

4-3-9 過濾法併用

4-3-11 活性碳吸附

4-3-2 調控溶液初始pH值

4-3-4 初始鎳汞濃度

4-3-6 預加次氯酸

4-3-8 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 沉澱法併用

4-3-10 **雙混凝劑**

4-3-12 **活性碳併用**



實驗室杯瓶實驗

淨水技術的優化		鎳的最佳去除率 (%)	汞的最佳去除率 (%)	註解
方法一	最適混凝劑種類、最適濃度、最佳 pH 值	13%-17%	60%	汞的最佳條件是 FeCl ₃ :15 mg/L 或 PACl:6 mg/L、pH=中性 鎳的最佳條件是 FeCl ₃ :8 mg as Fe/L、pH=中性
方法二	延長慢混接觸時間	13%	72%	15 mg/L 氯化鐵延長慢混接觸時間至 60 分鐘
方法三	雙混凝劑	30%	70%	30 mg/L FeCl ₃ 再添加 30 mg/L PACl
方法四	活性炭+化學混凝	35%	78%	先添加活性炭 50 mg/L 於快混池，再添加混凝劑 PACl=50 mg/L 或是 FeCl ₃ =50 mg/L，於沉澱池一併去除。
方法五	Ca(OH) ₂ 沉澱法+化學混凝法	95%	33%	Ca(OH) ₂ 添加 100 mg/L 提高 pH。 FeCl ₃ =50 mg/L



高風險淨水場駐場試驗

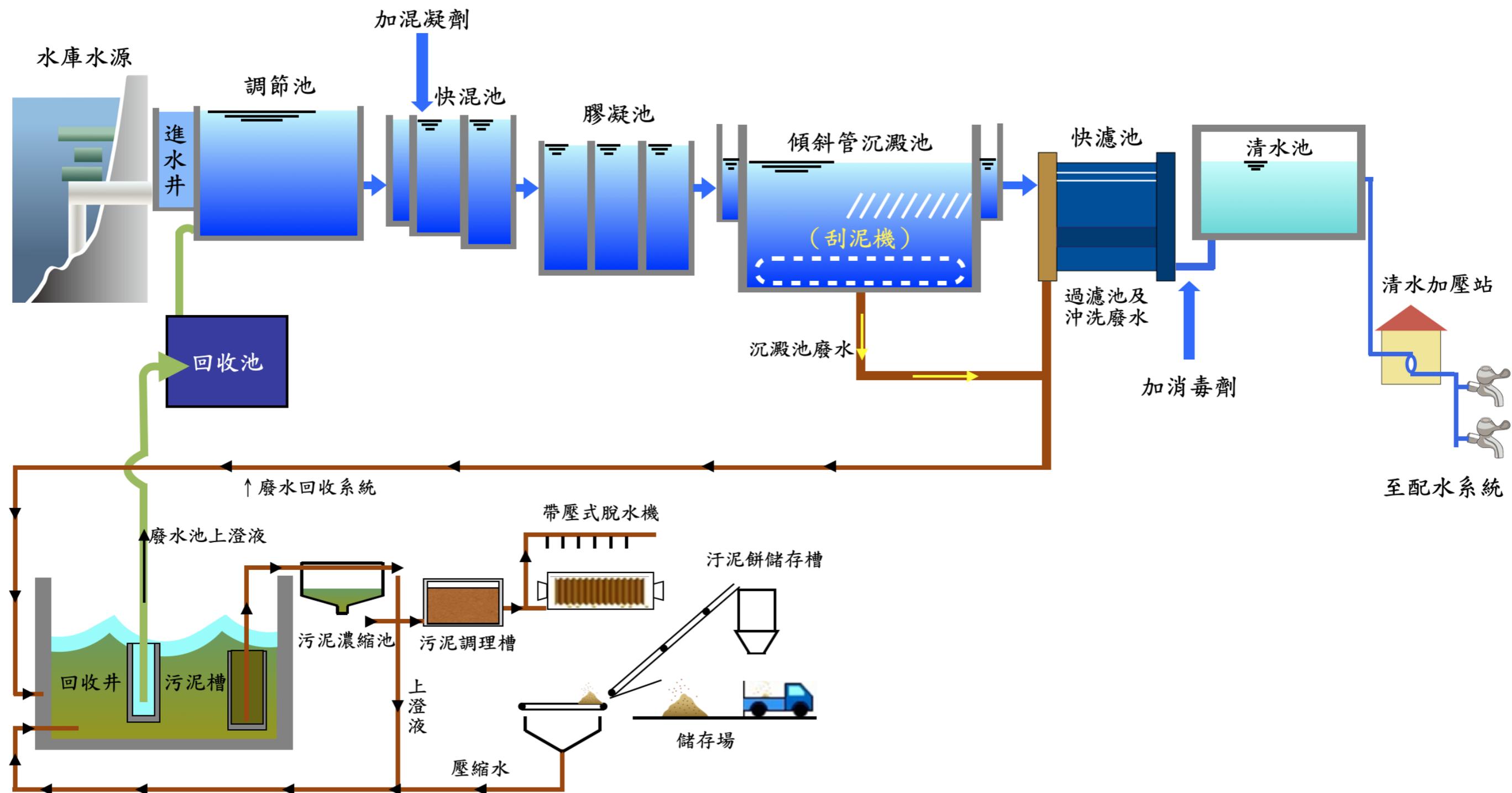
依汞、鎳濃度分析結果及淨水場規模(供水量大小)、歷史數據淨水流程及水源種類、台水公司業務考量等，與台水公司共同商討擇定**6座**汞、鎳高風險駐廠淨水場。

淨水場	供水量 (CMD)	水源	處理流程	混凝劑	消毒劑	擇選理由
南化淨水場	500,000	地面水(南化水庫)	原水→快混池→膠凝沉澱池→快濾池→消毒→清水池	氯化鐵	次氯酸鈉	1.南部重要淨水場 2. 108年配水的汞曾超內控。
員林第三淨水場	18,935	地下水	原水→曝氣→快濾桶→清水池(消毒)	無	次氯酸鈉	1.本案檢驗清水鎳的超內控。 2. 106年原水鎳較高
豐原淨水場二場	800,000	地面水(石岡壩)	原水→初沉池→膠羽池→沉澱池→快濾池→清水池(消毒)	聚氯化鋁 + 氯化鐵	液氯	1.中部重要淨水場 2.104年清水的鎳超內控、106年清、配水的汞超內控。
板新淨水場	700,000	地面水(三峽河、大漢溪)	原水→分水井→快混池→膠羽池→沉澱池→快濾池→清水池(消毒)	聚氯化鋁	液氯	1.北部重要淨水場 2. 107年清水的汞超內控。
廣興淨水場	19,125	地下水	原水→消毒→清水池	無	次氯酸鈉	1 104年配水的汞、鎳超內控。 2.作為東部淨水場之代表。
草屯第二淨水場	10,000	地下水	原水→曝氣→消毒→清水池	無	次氯酸鈉	106年原水的汞5次數據偏高。



高風險淨水場駐場試驗

淨水場處理流程圖





高風險淨水場駐場試驗

板新淨水場

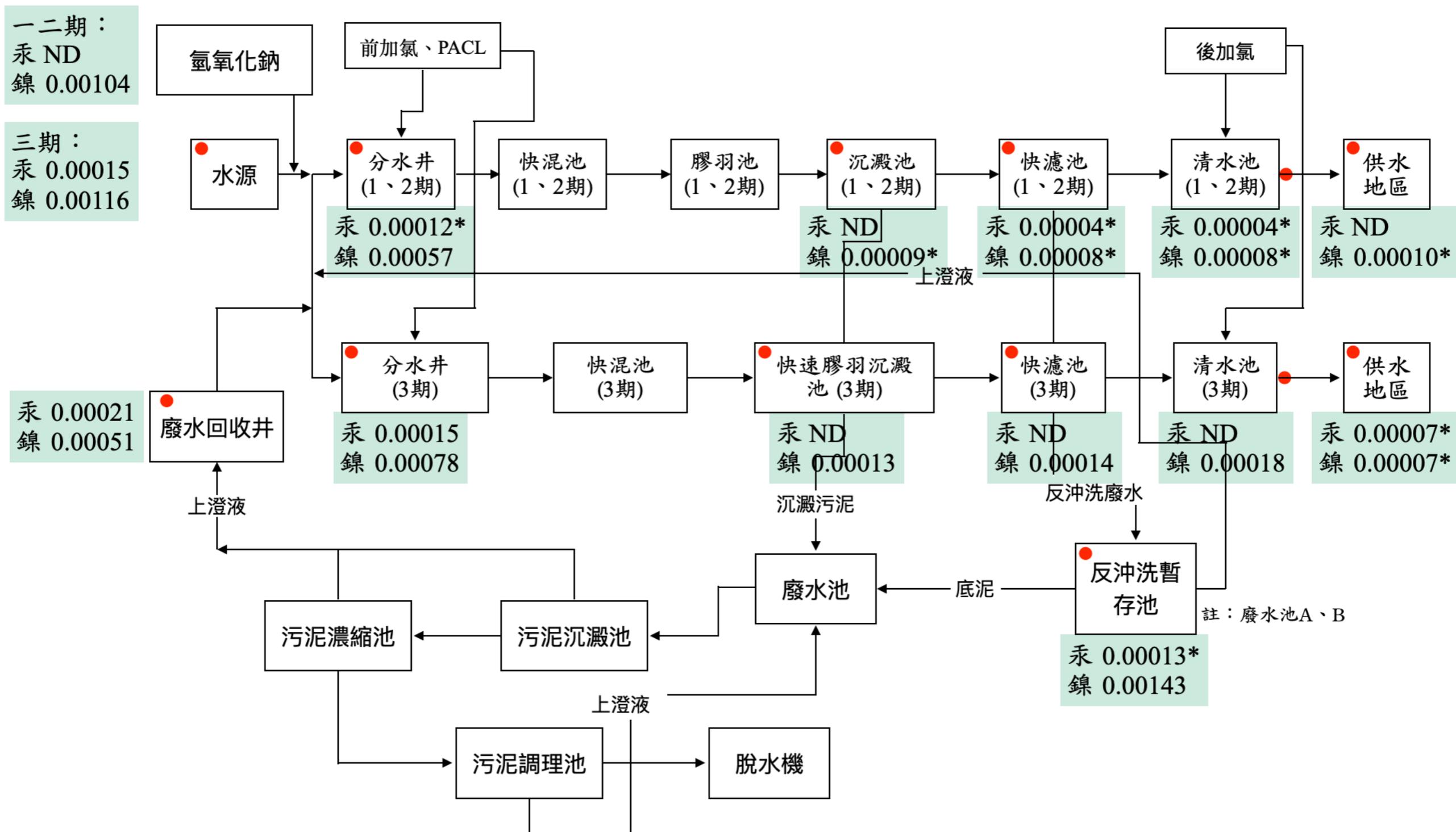




高風險淨水場駐場試驗

板新淨水場各淨水單元汞鎳數據

單位：mg/L

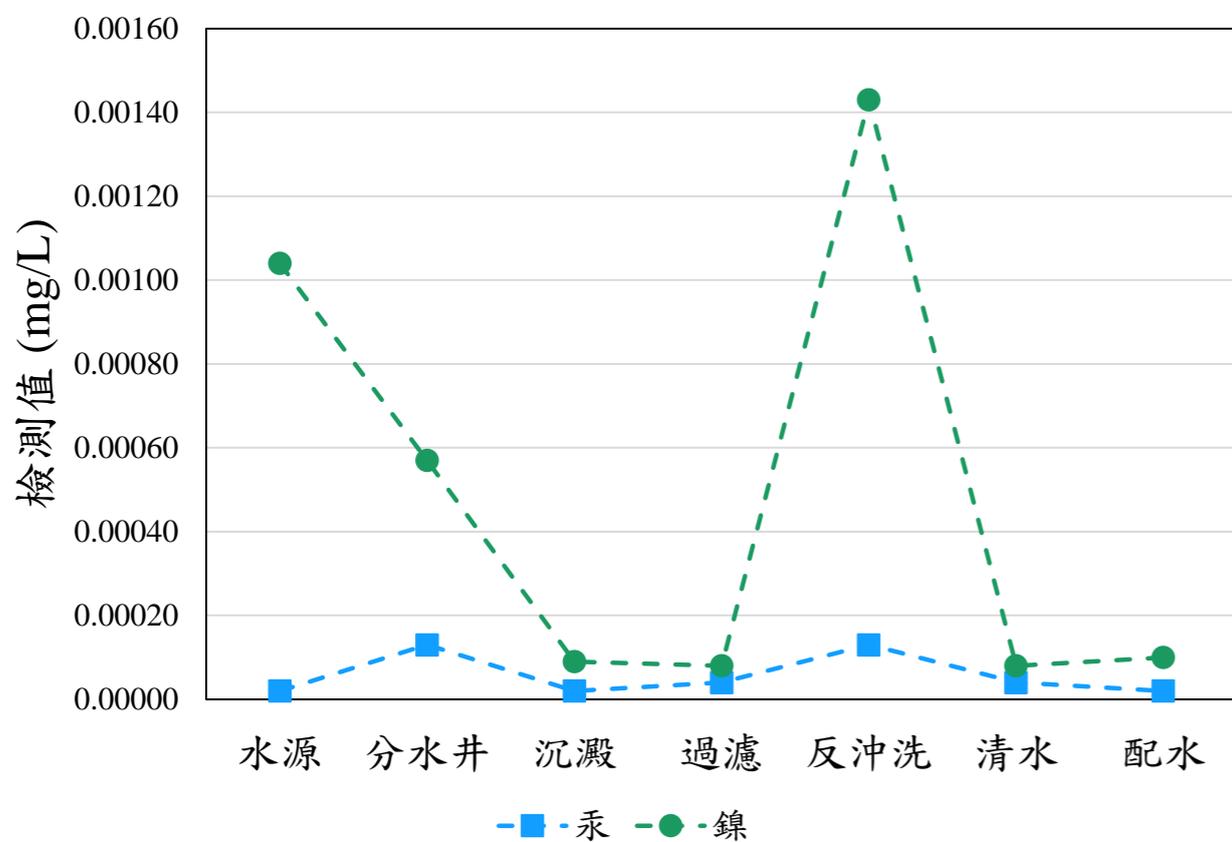




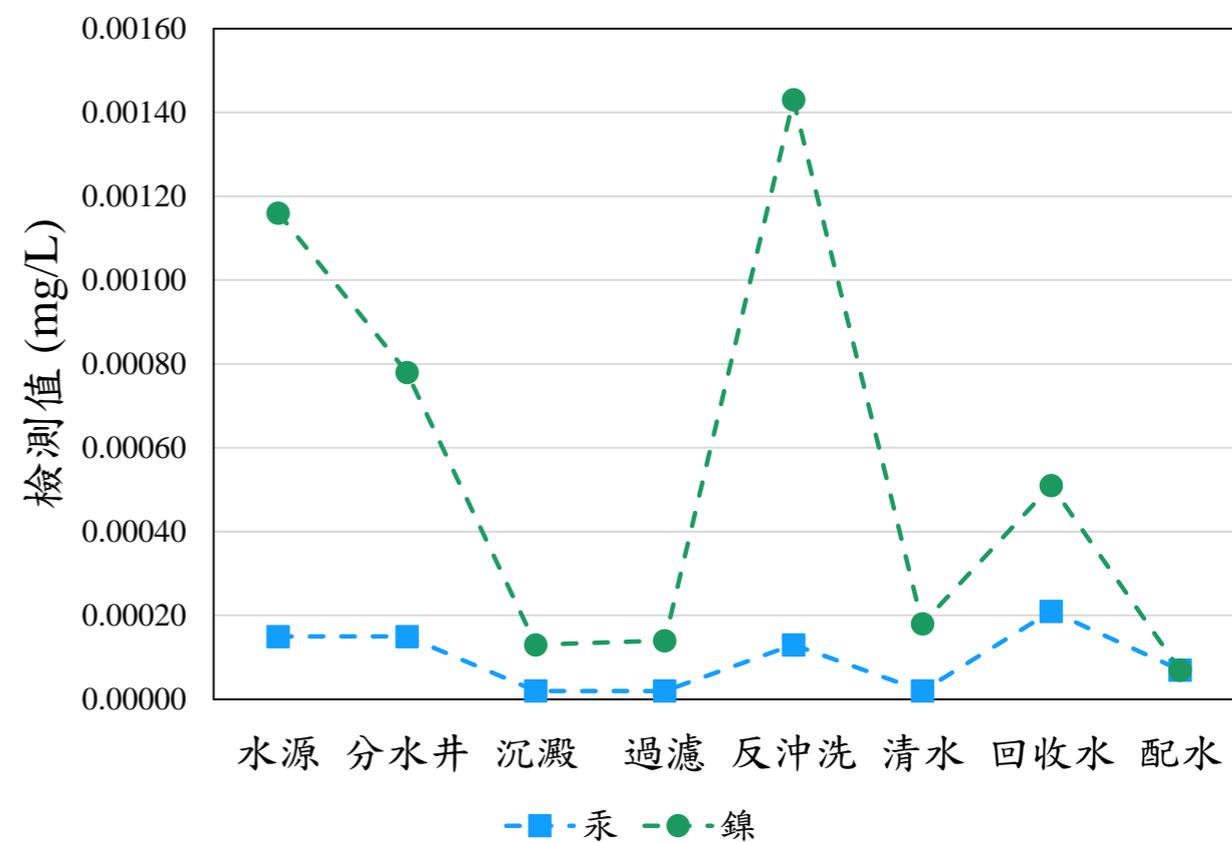
高風險淨水場駐場試驗

板新淨水場各淨水單元汞鎳數據

板新淨水場一二期



板新淨水場三期





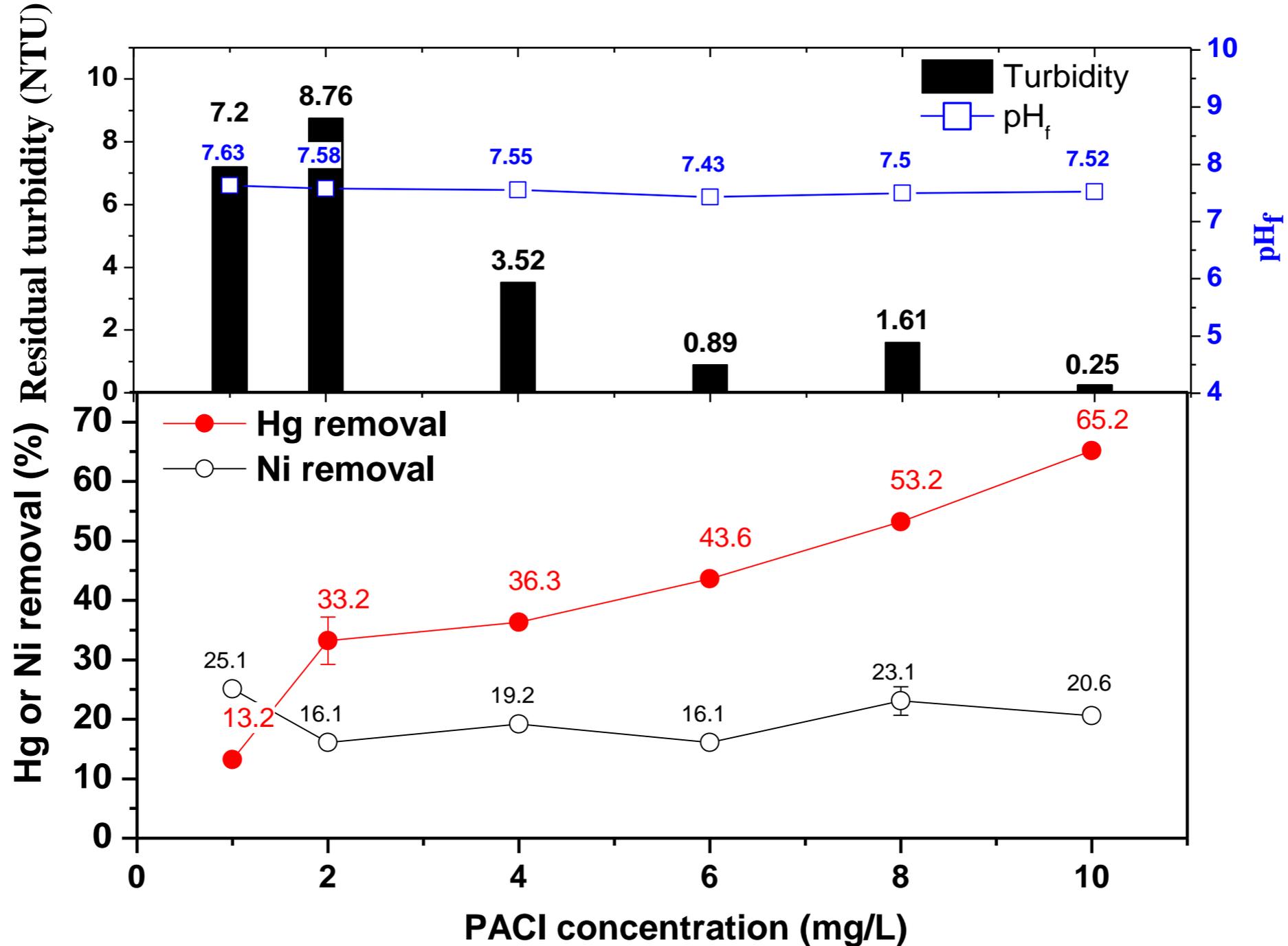
板新淨水場駐場混凝數據

150 rpm快混137秒，再調為50 rpm慢混24分鐘，移高攪拌槳後靜置64分鐘

方法一：劑量效應-PACl

實驗日期：2020.05.07

初始濁度:18 NTU；初始pH:7.9

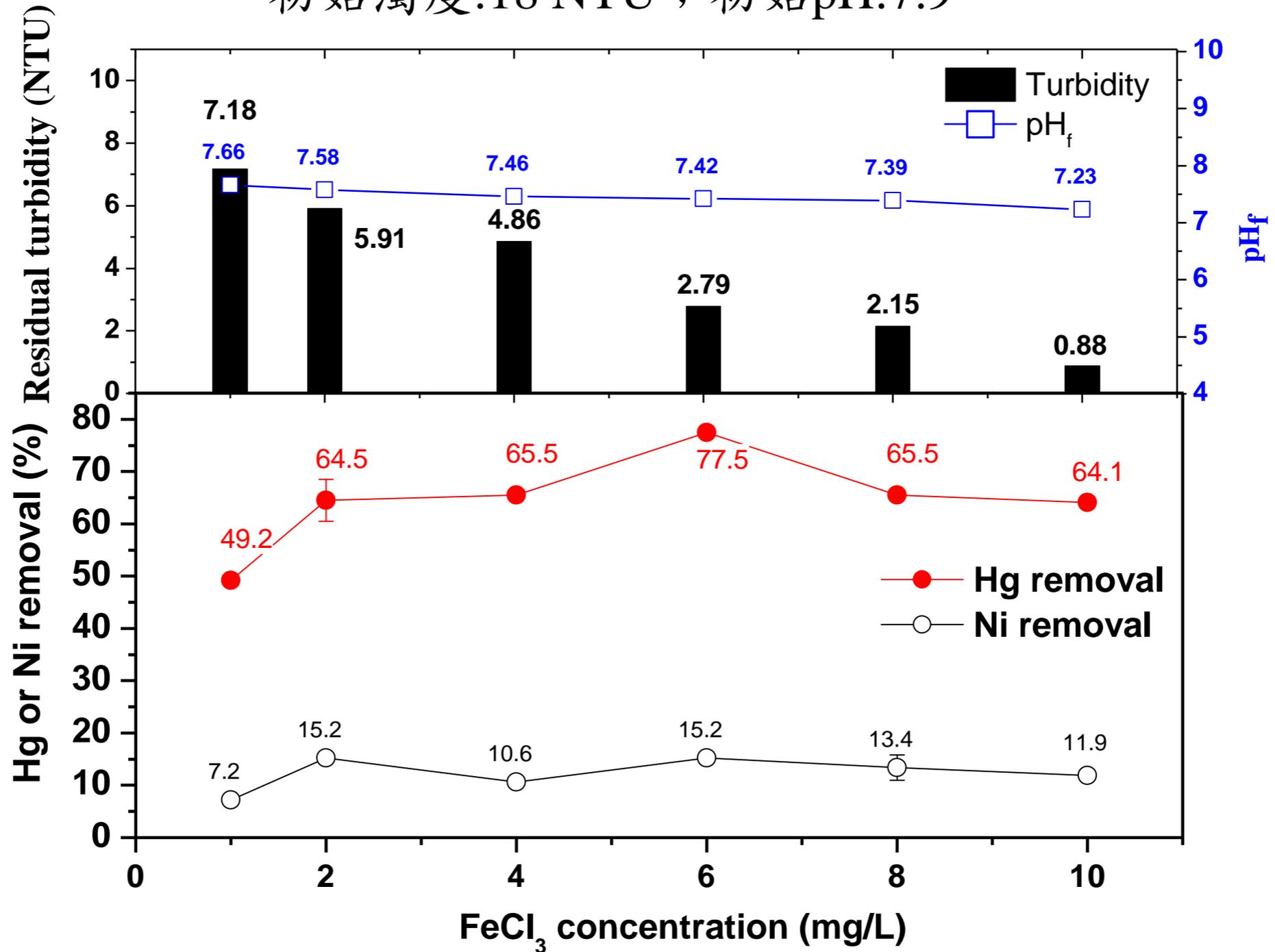


- PACl對汞的去除率隨劑量增加而增加，對鎳去除率約20%。
- 相較於中南部的駐廠，板新水廠的PACl對汞鎳去除率較高。



方法一：劑量效應-FeCl₃

初始濁度:18 NTU；初始pH:7.9

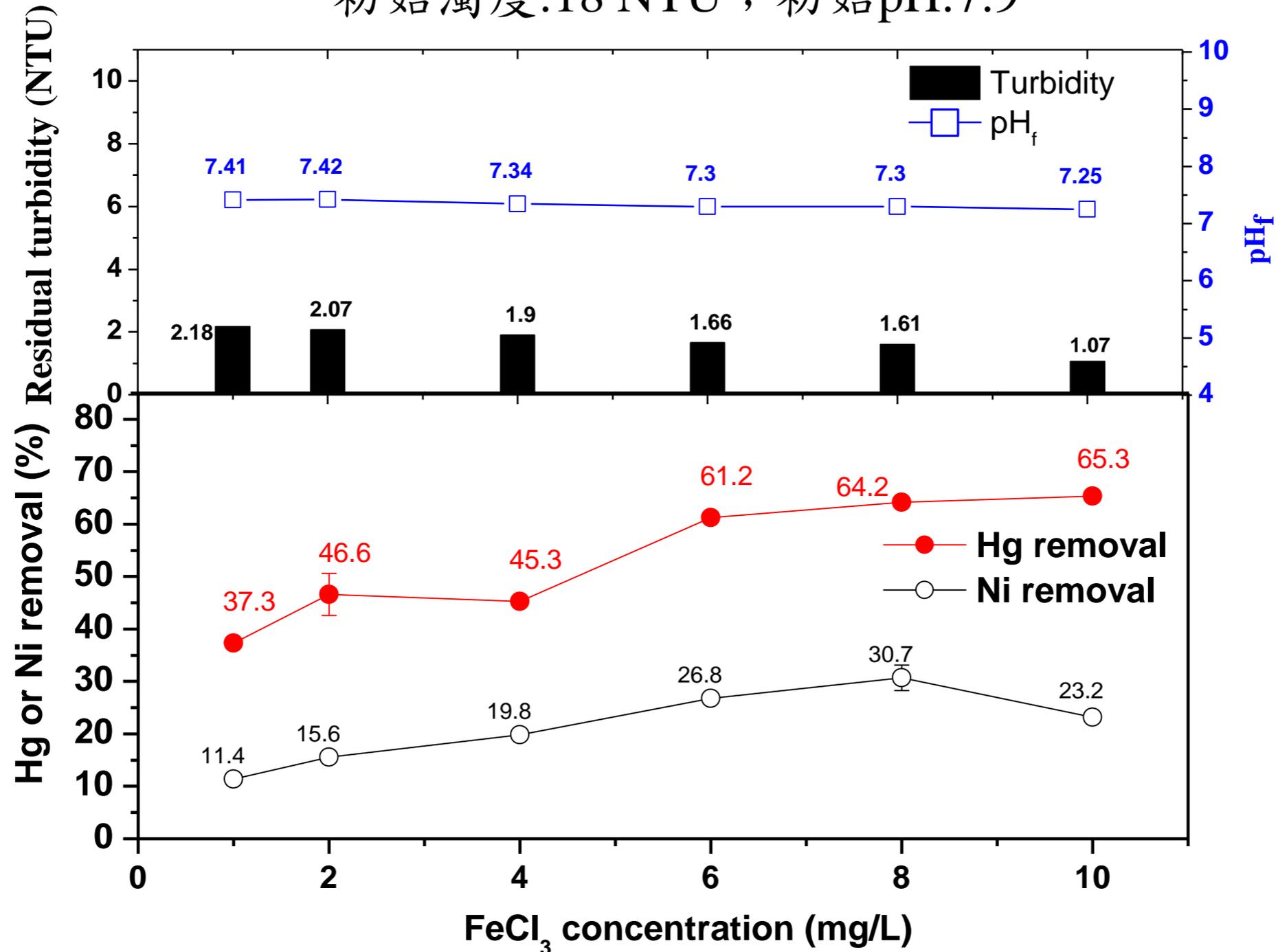


- FeCl₃對汞的去除率約65%，對鎳去除率約12%。
- 相較於中南部的駐廠，板新水廠的FeCl₃對汞鎳去除率較高。



方法二：雙混凝劑量效應-4 mg/L PACl +x mg/L FeCl₃

初始濁度:18 NTU；初始pH:7.9



- 雙混凝劑對汞的去除率優於PACl，但不如FeCl₃。
- 雙混凝劑對鎳的去除率優於PACl和FeCl₃。

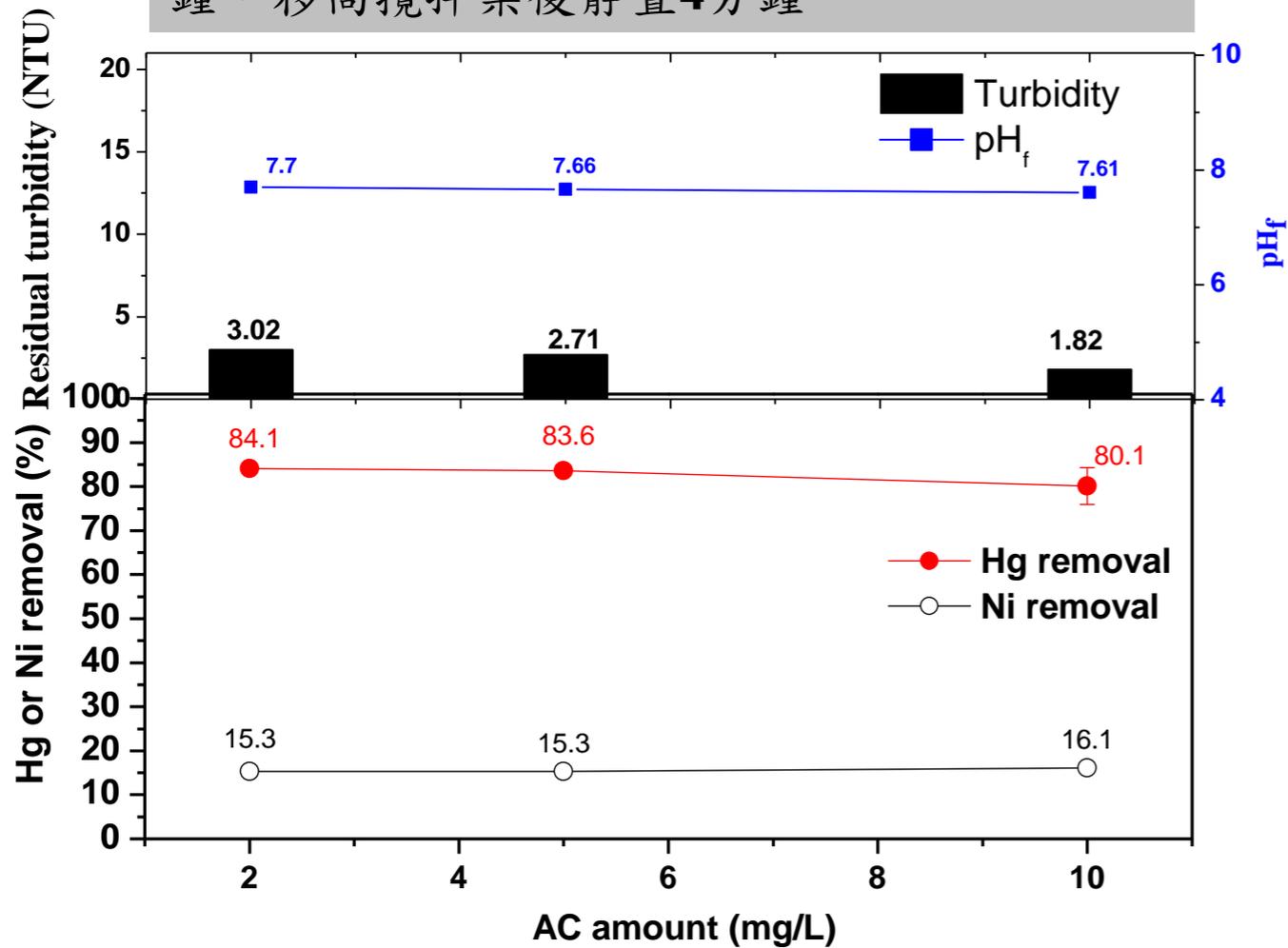


方法三:活性碳+化學混凝(同時討論反應時間)

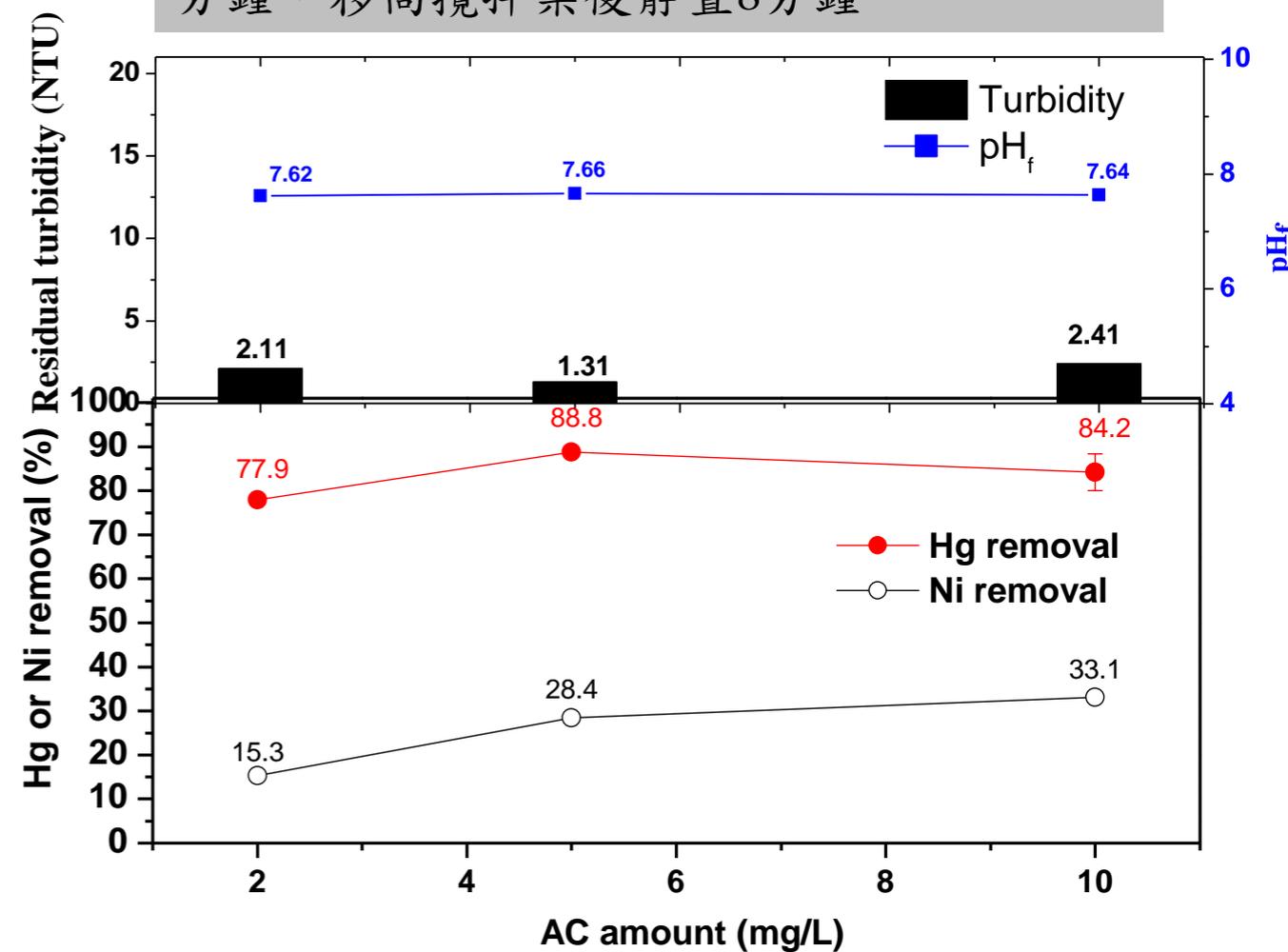
初始濁度:18 NTU；初始pH:7.9

添加活性碳(2 mg/L、5 mg/L、10 mg/L)於快混池，再添加4 mg/L多元氯化鋁。

150 rpm快混137秒，再調為50 rpm慢混24分鐘，移高攪拌槳後靜置4分鐘



150 rpm快混137秒，再調為50 rpm慢混47.9分鐘，移高攪拌槳後靜置8分鐘



- 添加活性碳於快混池有助於汞的去除。對於鎳的去除，需提高活性碳用量與接觸時間才有明顯改善。



高風險淨水場駐場試驗

廣興淨水場



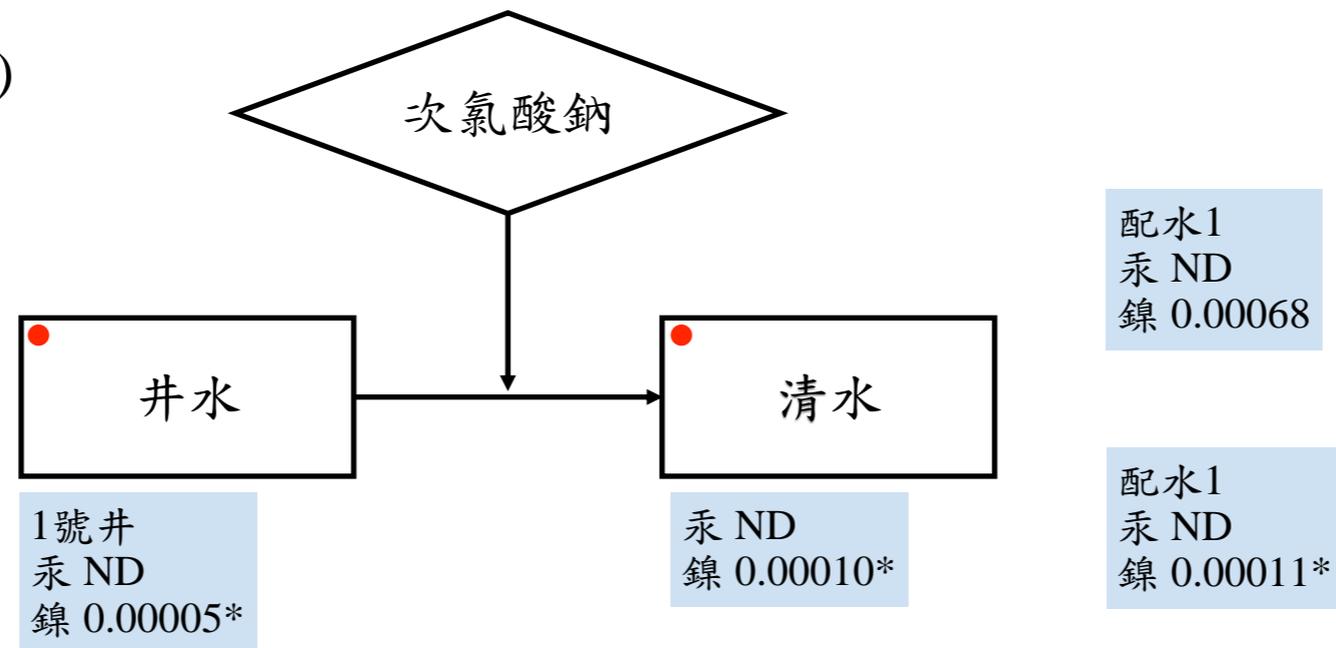


高風險淨水場駐場試驗

廣興淨水場各淨水單元汞鎳數據

單位：mg/L

採樣日期：4/10 (五)



水樣類別	汞	鎳
原水	ND	0.00005*
清水	ND	0.00010*
配水1	ND	0.00068
配水2	ND	0.00011*

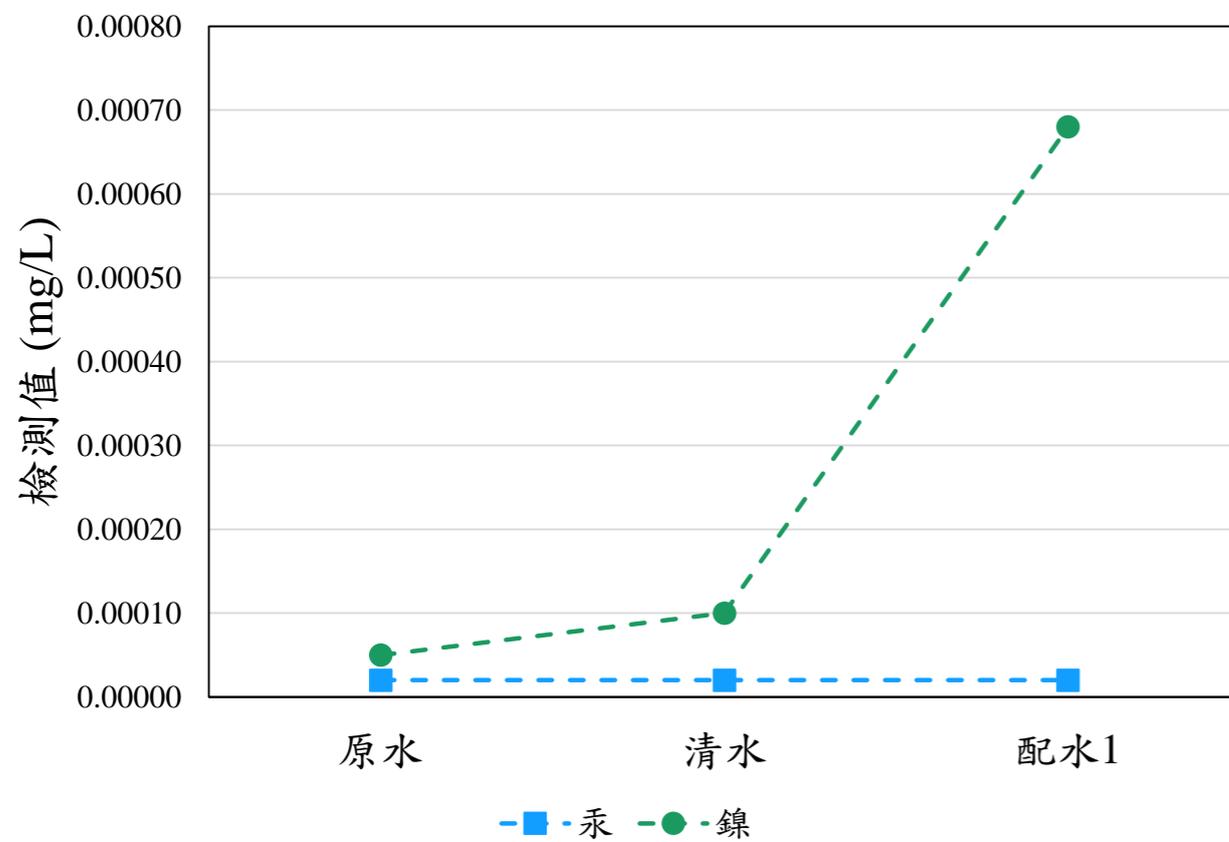
*：為高於MDL但低於QDL之數據



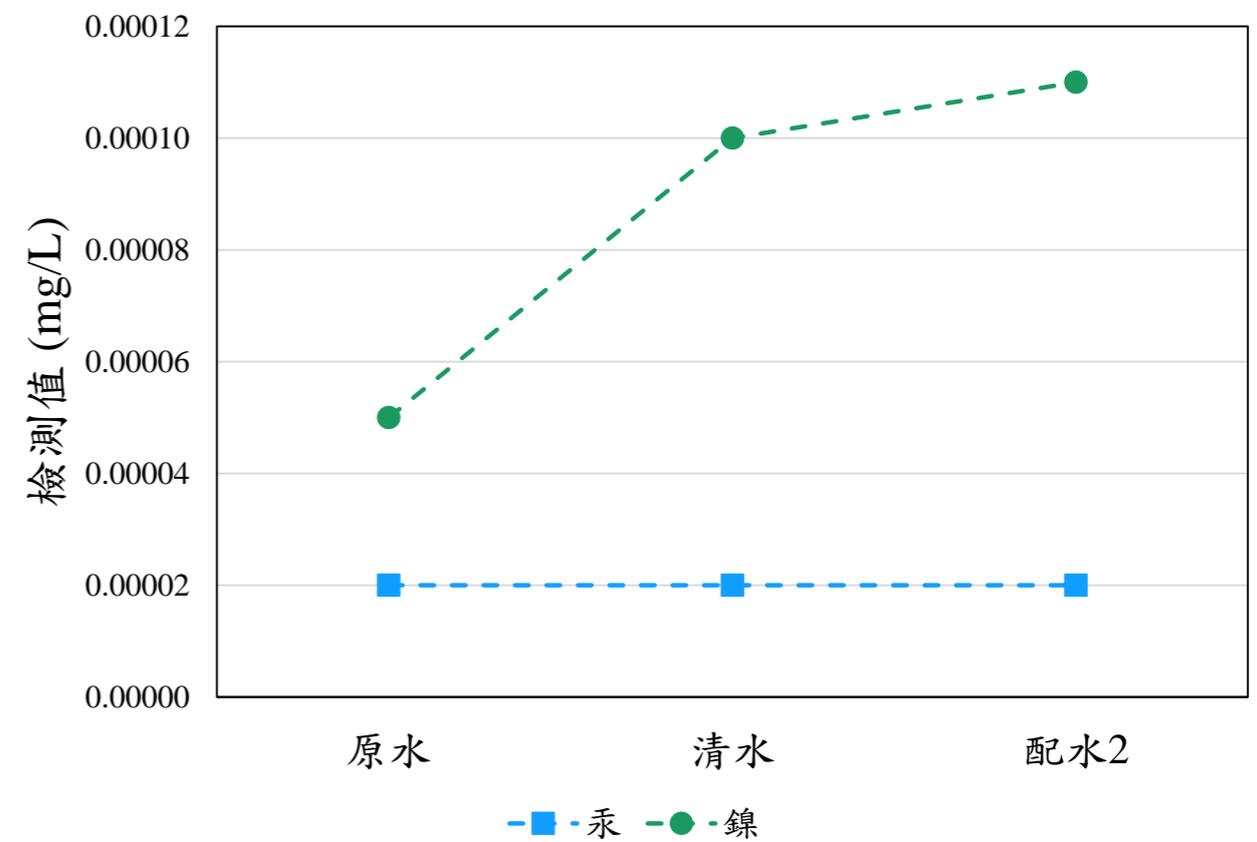
高風險淨水場駐場試驗

廣興淨水場各淨水單元汞鎳數據

廣興淨水場 (配水點1)



廣興淨水場 (配水點2)



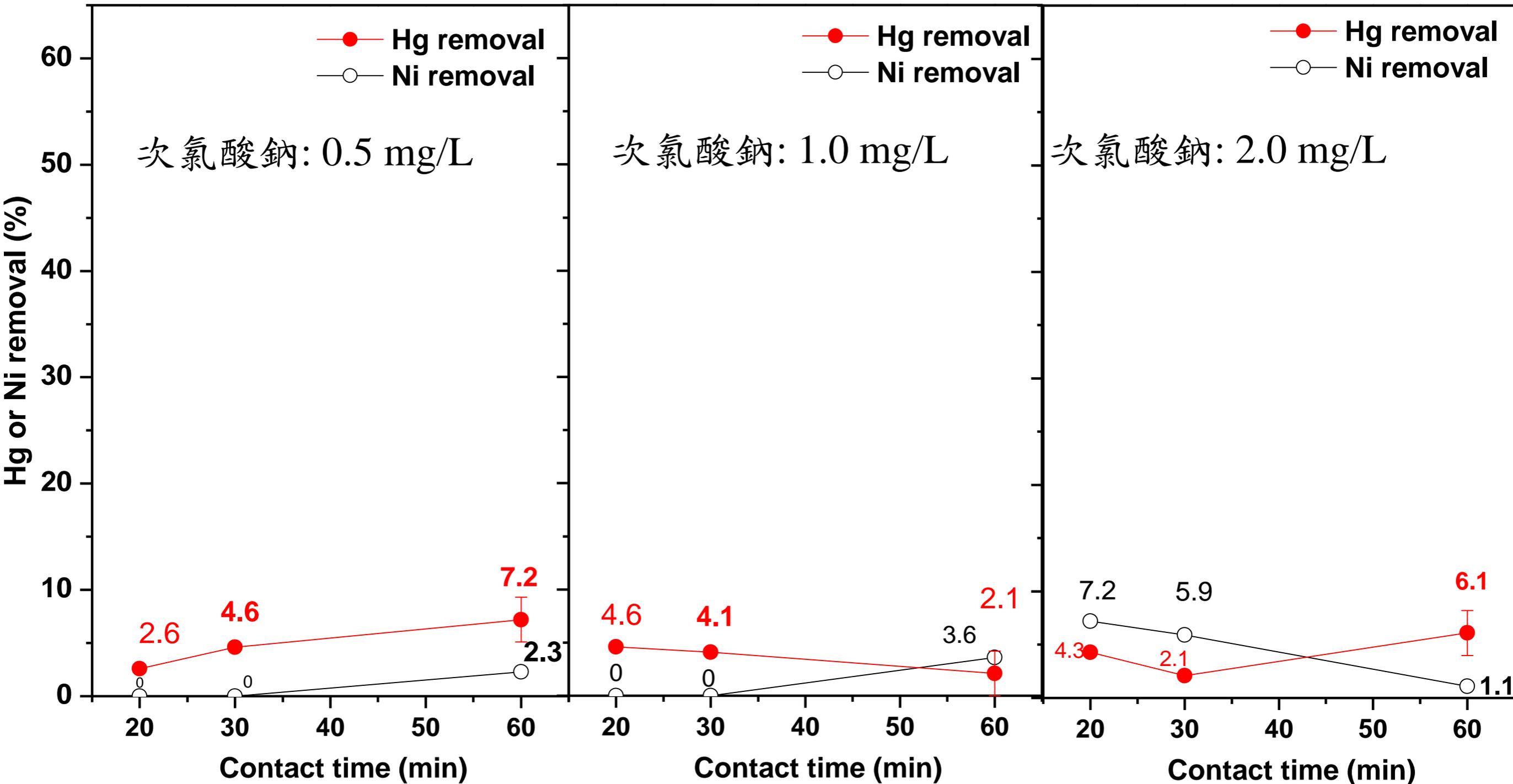
配水點1：羅東鎮純精路二段25號 (原配水點)

配水點2：羅東西門郵局對面



廣興淨水場駐場實驗數據

方法一 加氯濃度與接觸時間



- 加氯無法有效促進汞離子/鎳離子去除。對照他廠，需要搭配快濾桶才能以預氯搭配快濾去除汞離子。



高風險淨水場駐場試驗

員林第三淨水場



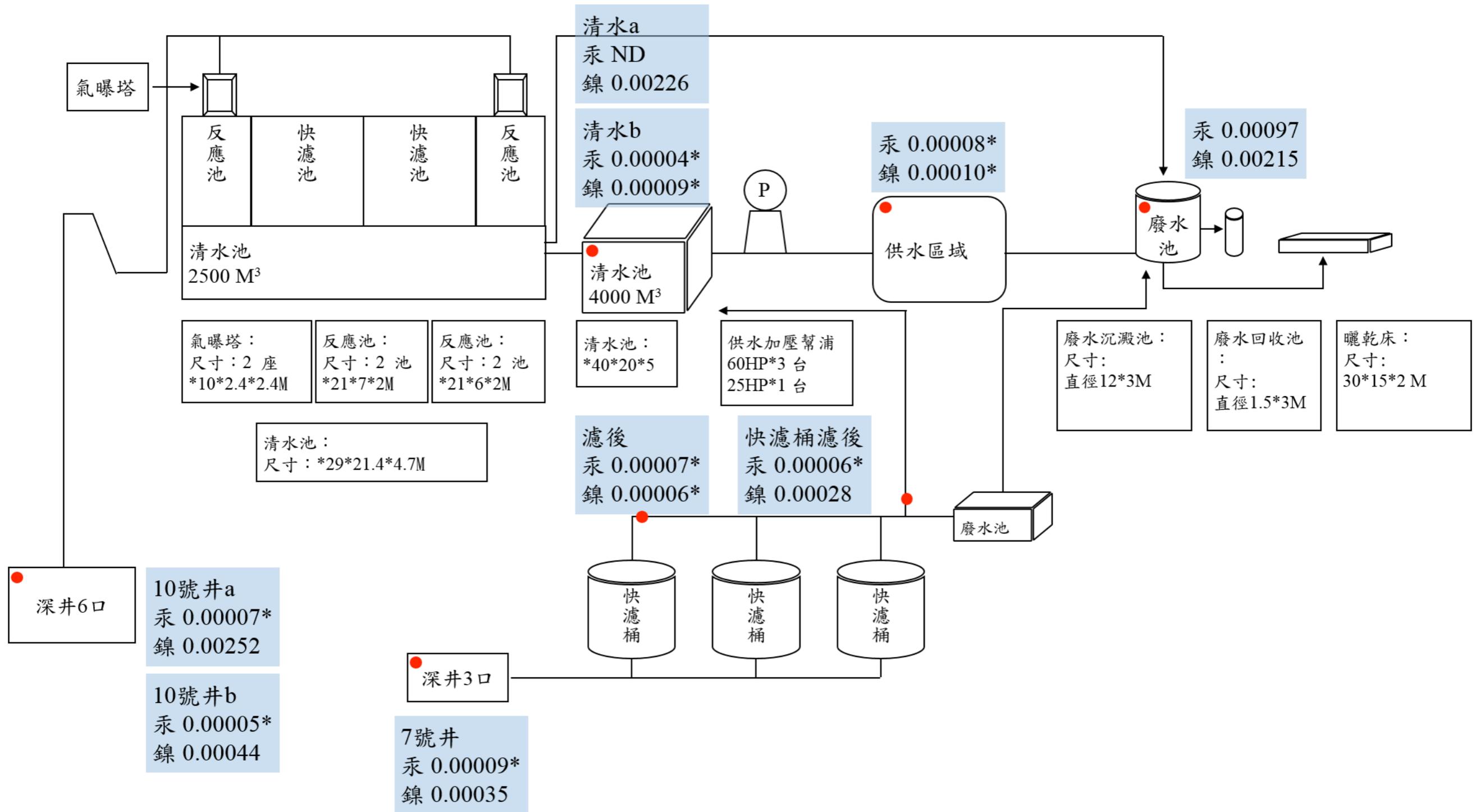


高風險淨水場駐場試驗

員林第三淨水場各淨水單元汞鎳數據

單位：mg/L

採樣日期：4/30 (四)

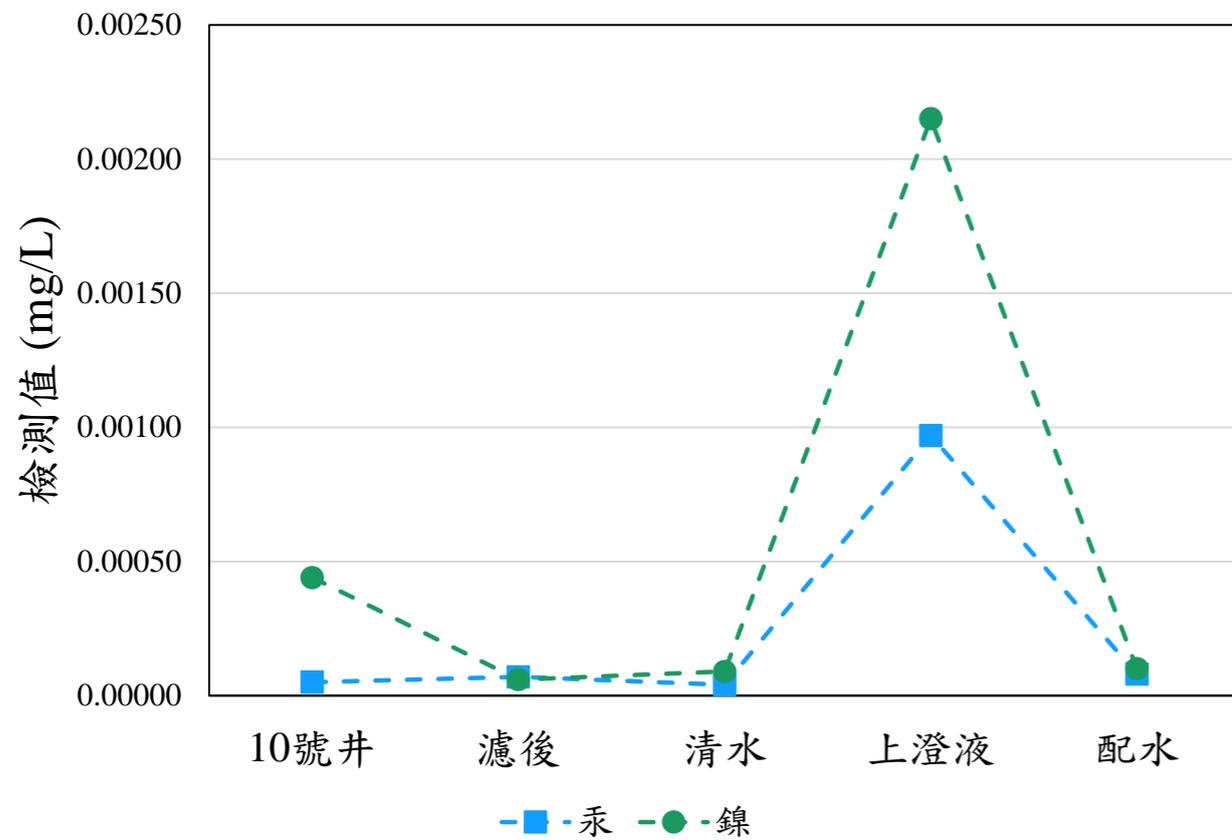




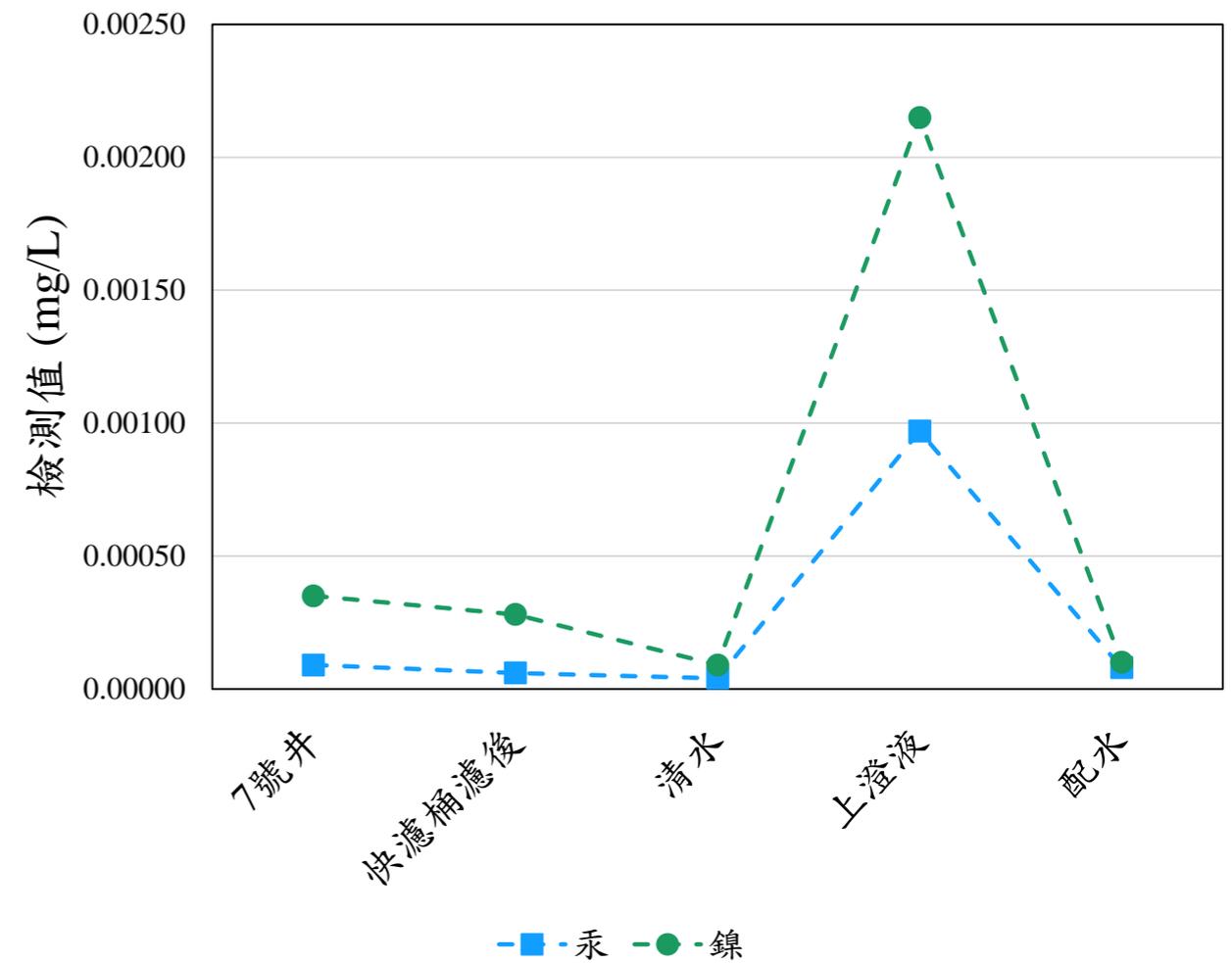
高風險淨水場駐場試驗

員林第三淨水場各淨水單元汞鎳數據

員林第三淨水場 (場外)



員林第三淨水場 (場內)





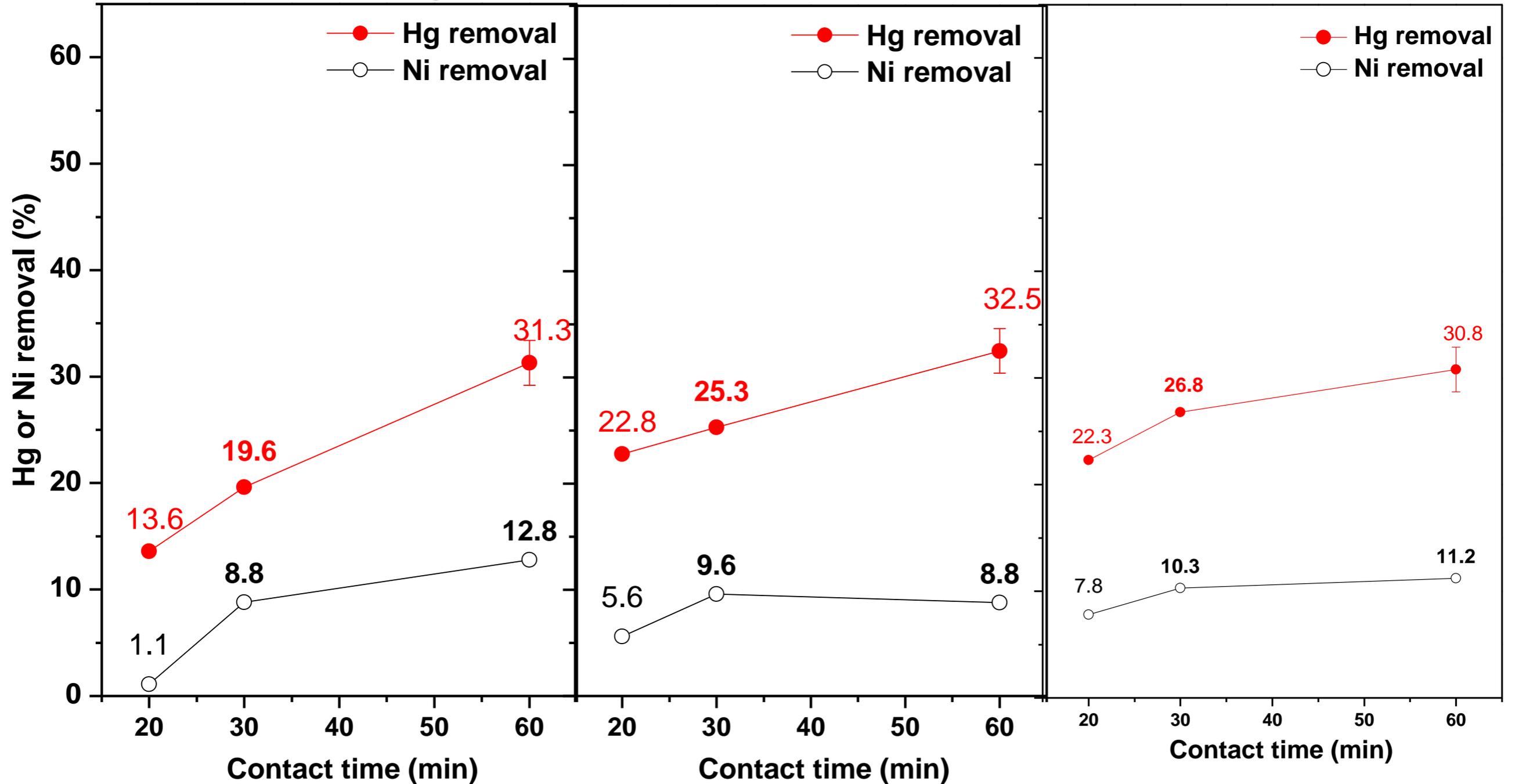
員林第三淨水場駐場實驗數據

方法一 加氯濃度與接觸時間 (濾紙過濾)

次氯酸鈉: 0.5 mg/L

次氯酸鈉: 1.0 mg/L

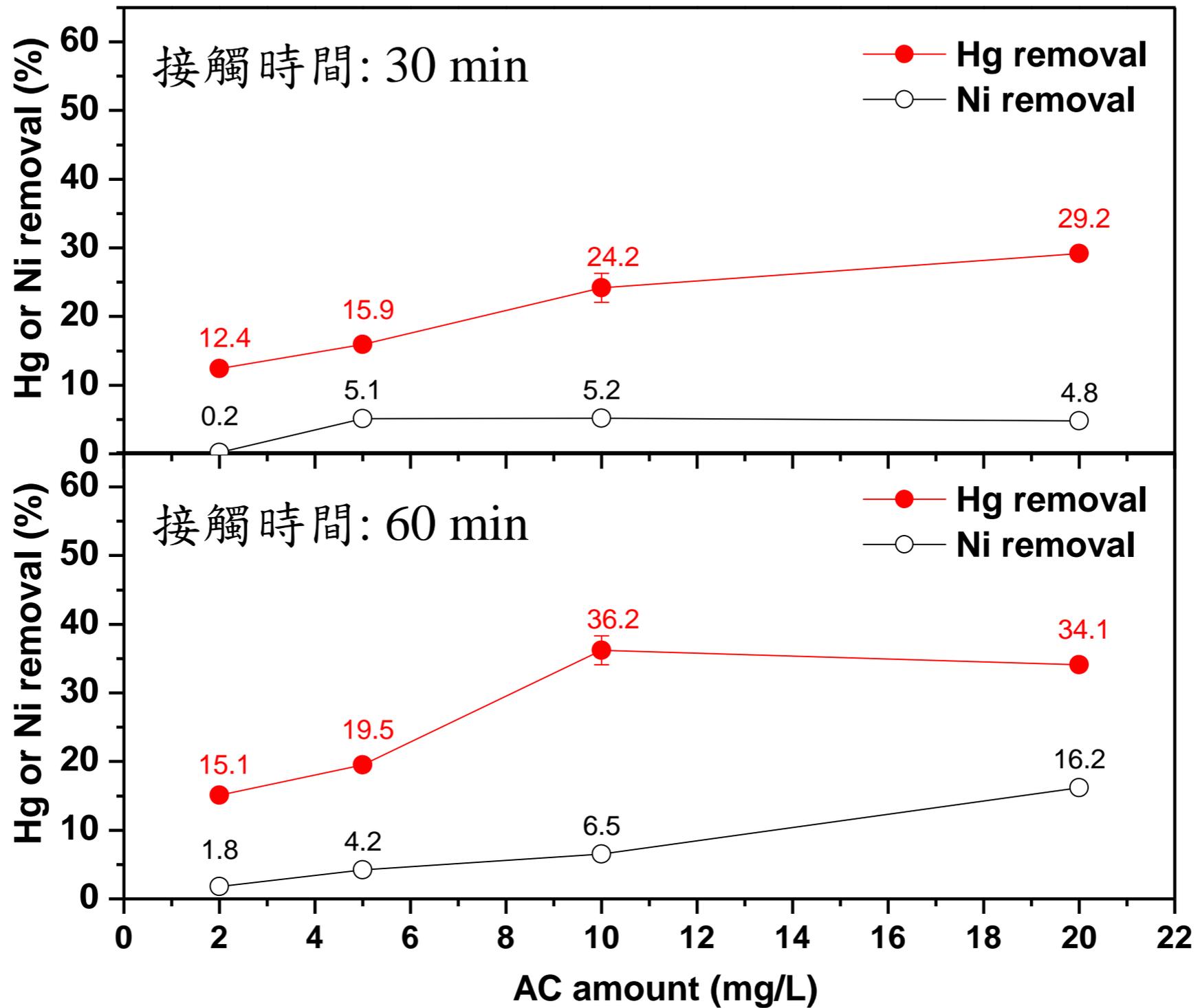
次氯酸鈉: 2.0 mg/L



- 預氯可促進汞離子氧化形成顆粒沉澱，有助於過濾去除，且與接觸時間成正比。鎳的去除則無此關聯性。



方法二 活性碳(同時討論反應時間)



- 活性碳對汞離子吸附去除較顯著。建議快濾桶中可佈置活性碳吸附層。



高風險淨水場駐場試驗

草屯第二淨水場



2020.4.30



2020.4.30



2020.5.15



2020.5.15



2020.6.19

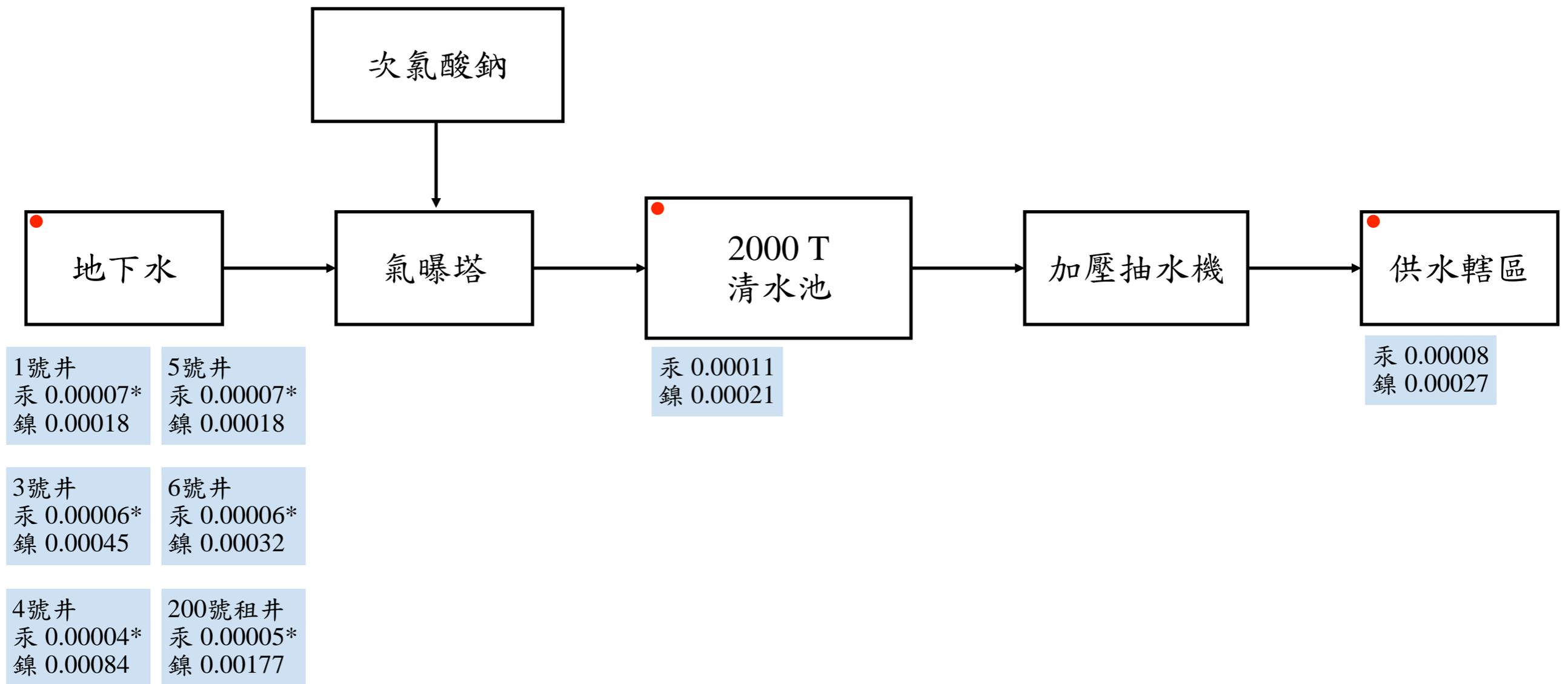


高風險淨水場駐場試驗

草屯第二淨水場各淨水單元汞鎳數據

單位：mg/L

採樣日期：4/30 (四)

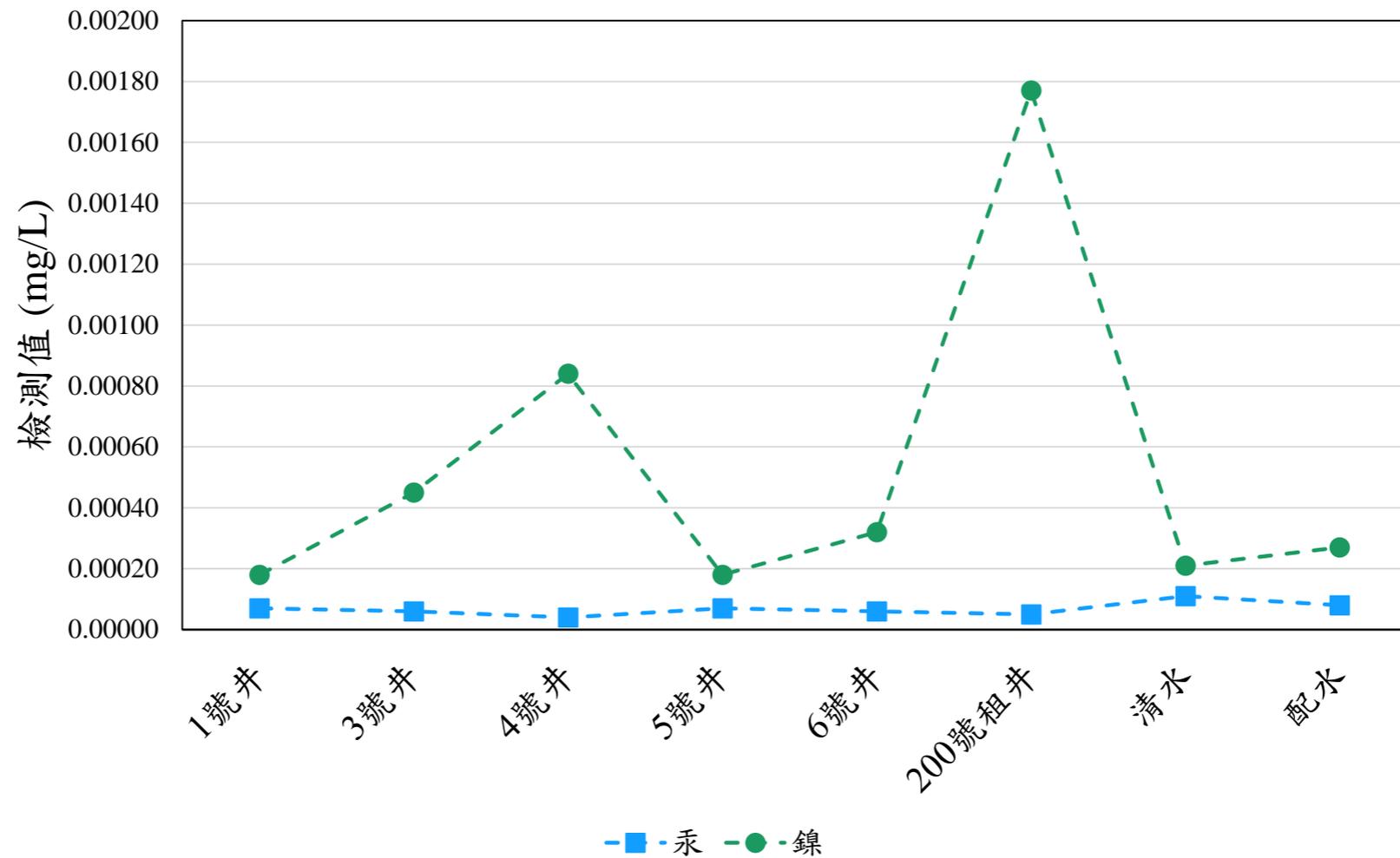




高風險淨水場駐場試驗

草屯第二淨水場各淨水單元汞鎳數據

草屯第二淨水場





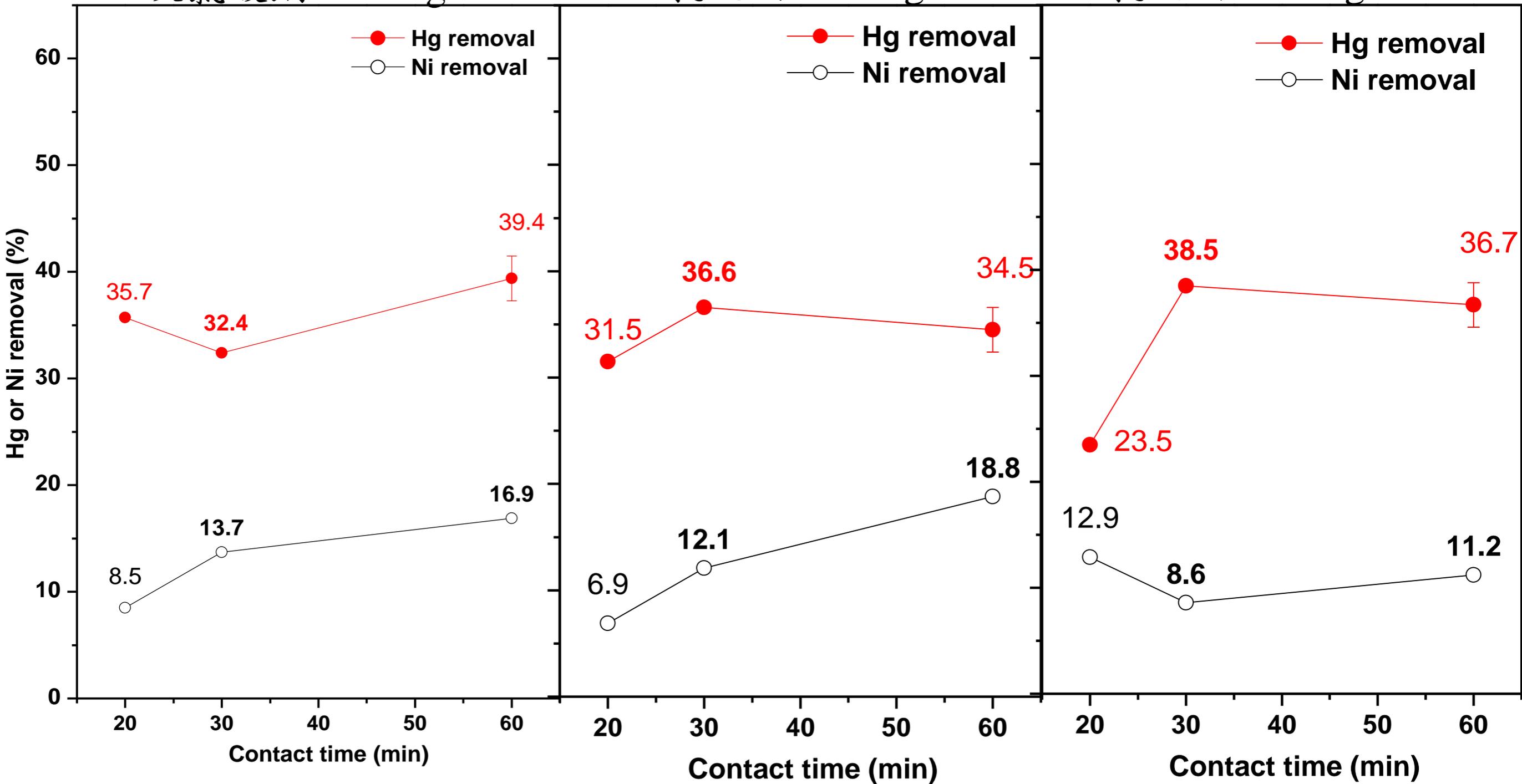
草屯第二淨水場駐場實驗數據

方法一 加氯濃度與接觸時間 (濾紙過濾)

次氯酸鈉: 0.5 mg/L

次氯酸鈉: 1.0 mg/L

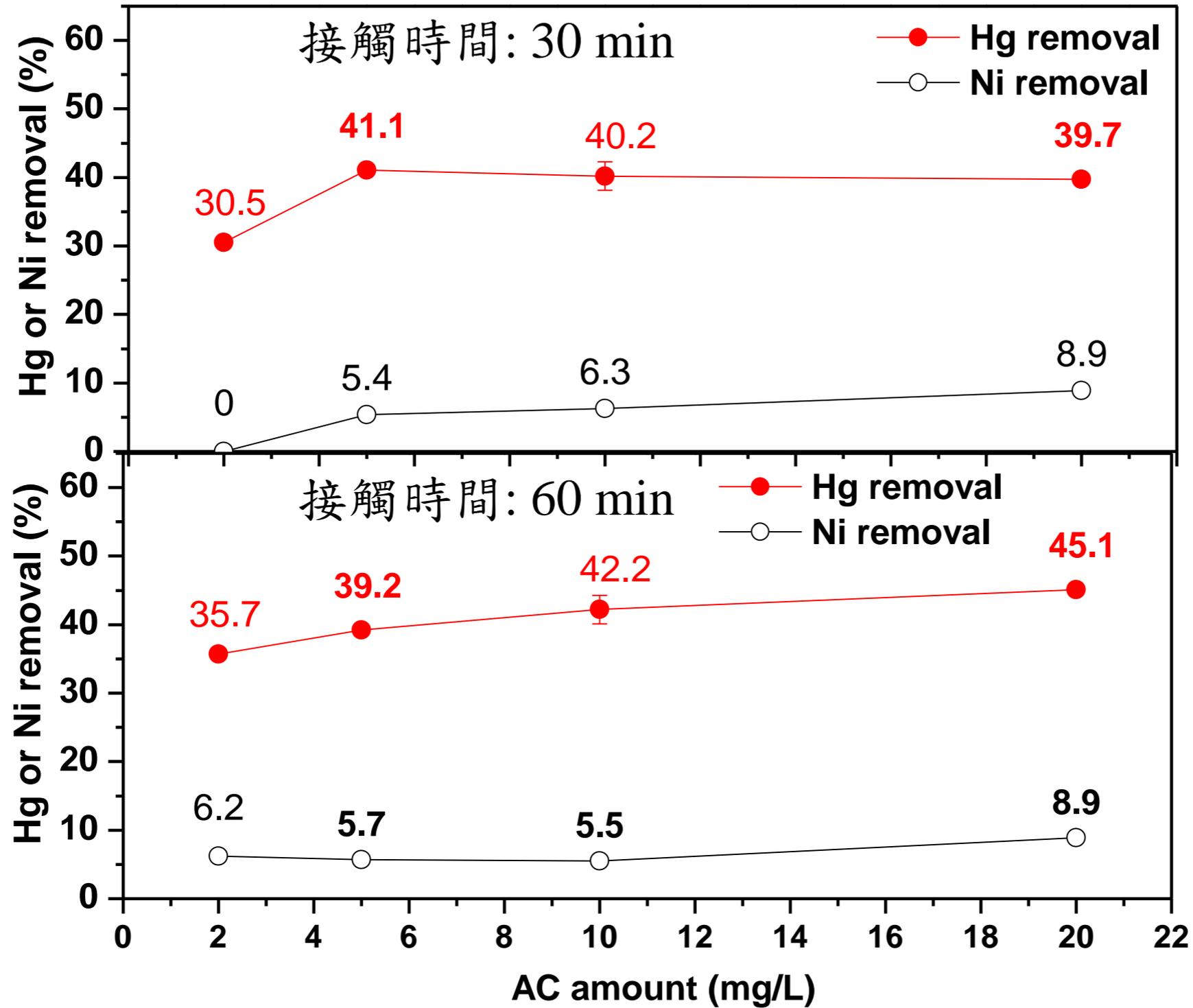
次氯酸鈉: 2.0 mg/L



● 預氯可促進汞離子氧化形成顆粒沉澱，有助於過濾去除，且與接觸時間成正比。鎳也略有去除能力。



方法二 活性炭(同時討論反應時間)



- 活性炭對汞離子吸附去除較顯著。建議快濾桶中可佈置活性炭吸附層。



高風險淨水場駐場試驗

豐原二場



2020.5.4



2020.5.4



2020.5.14



2020.5.14



2020.6.19

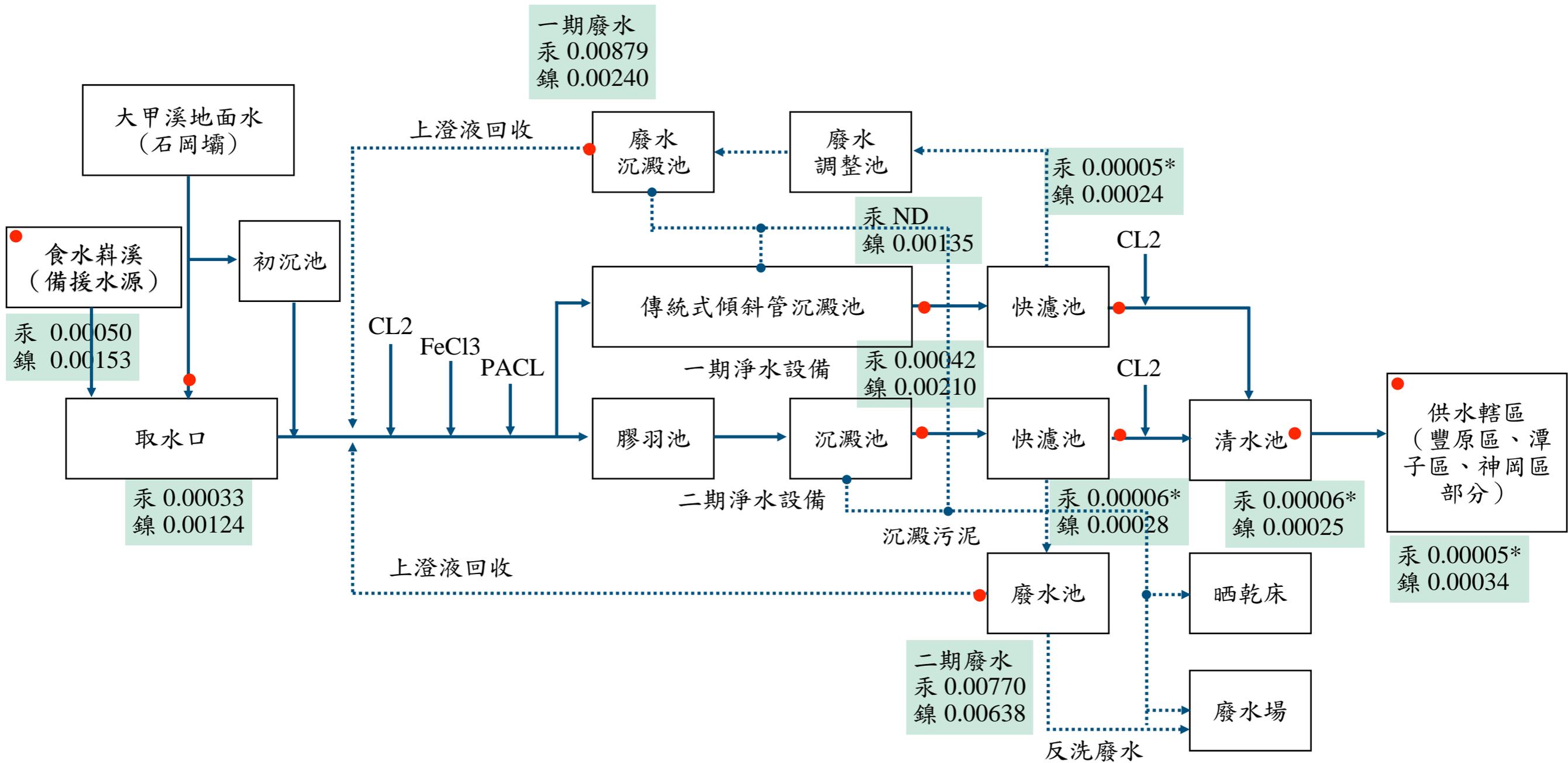


高風險淨水場駐場試驗

單位：mg/L

採樣日期：5/4 (一)

豐原二場各淨水單元汞鎳數據

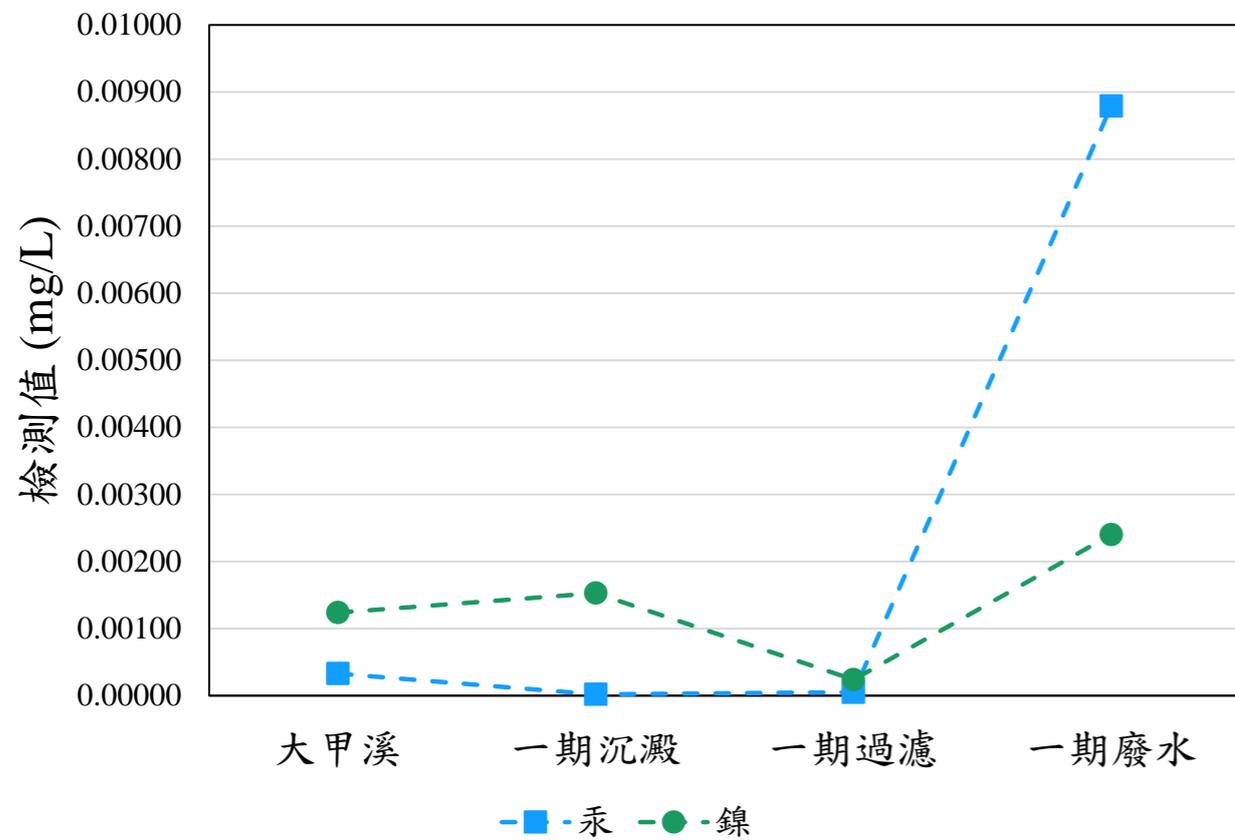




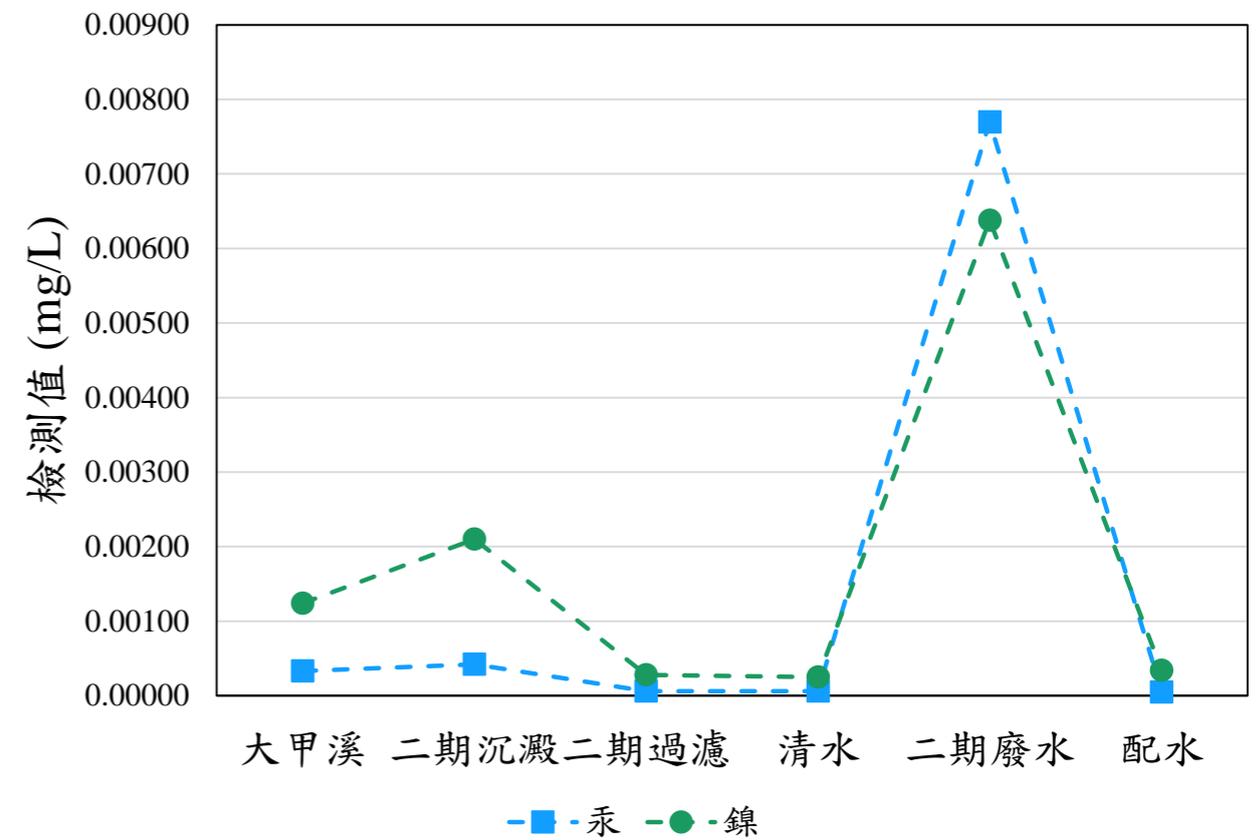
高風險淨水場駐場試驗

豐原二場各淨水單元汞鎳數據

豐原二場一期



豐原二場二期





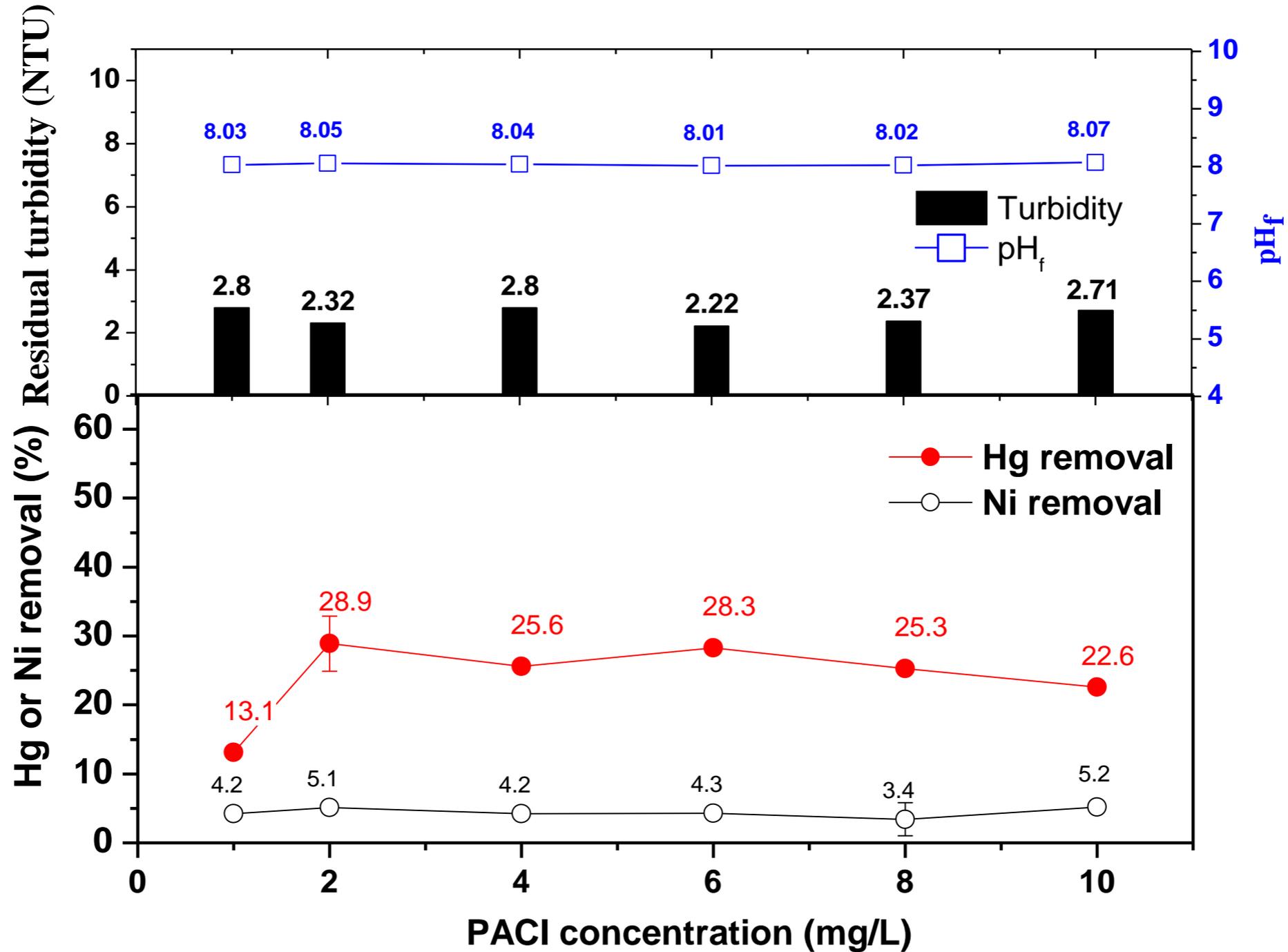
豐原二場駐場混凝數據

300 rpm快混5秒，再調為55 rpm慢混5分鐘，移高攪拌槳後靜置10分鐘

方法一：劑量效應-PACl

實驗日期：2020.05.12

初始濁度:3.8 NTU；初始pH:8.17

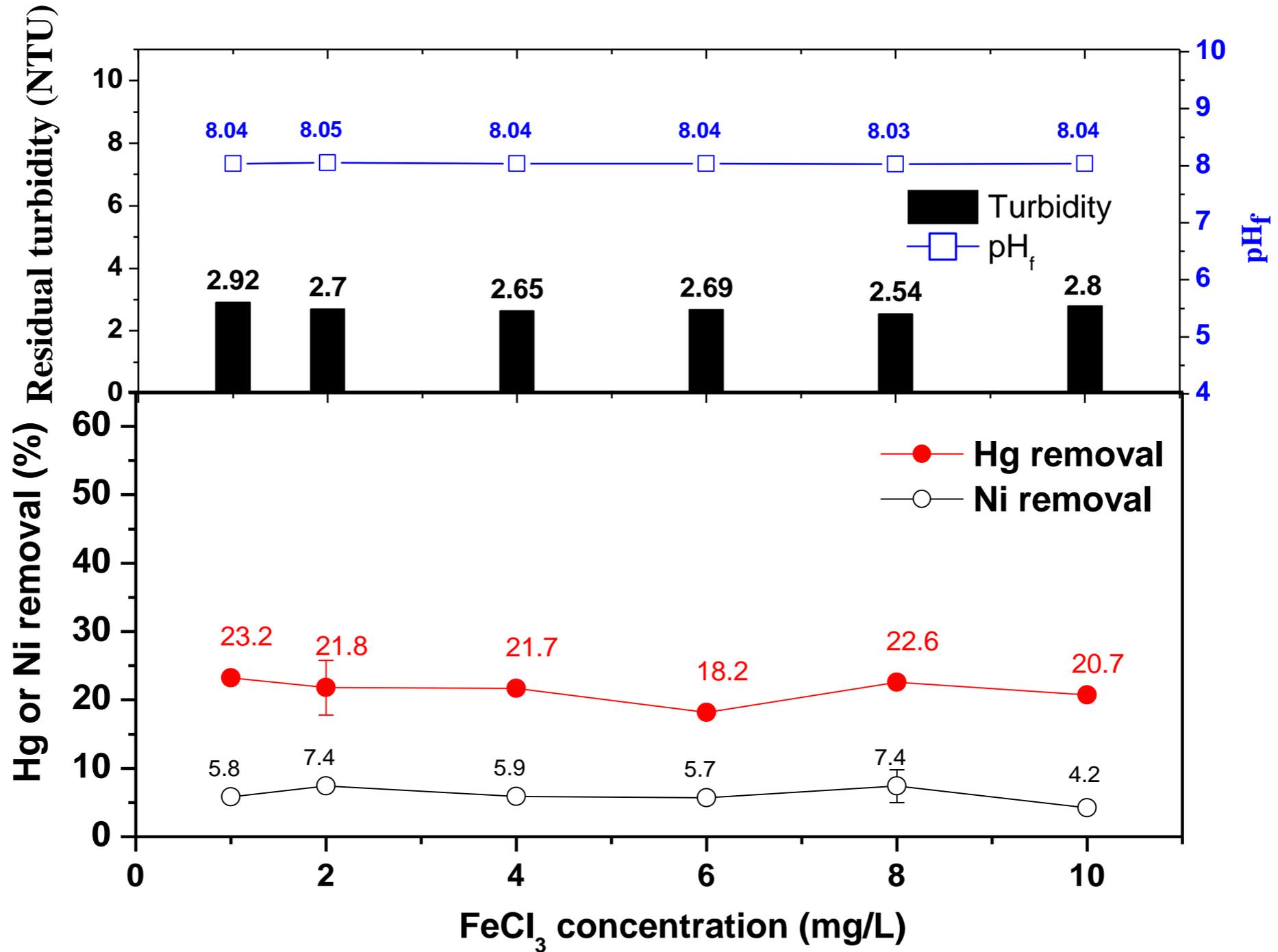


- PACl對汞的去除率約25%，對鎳去除率約5%。



方法一：劑量效應-FeCl₃

初始濁度:3.8 NTU；初始pH:8.17

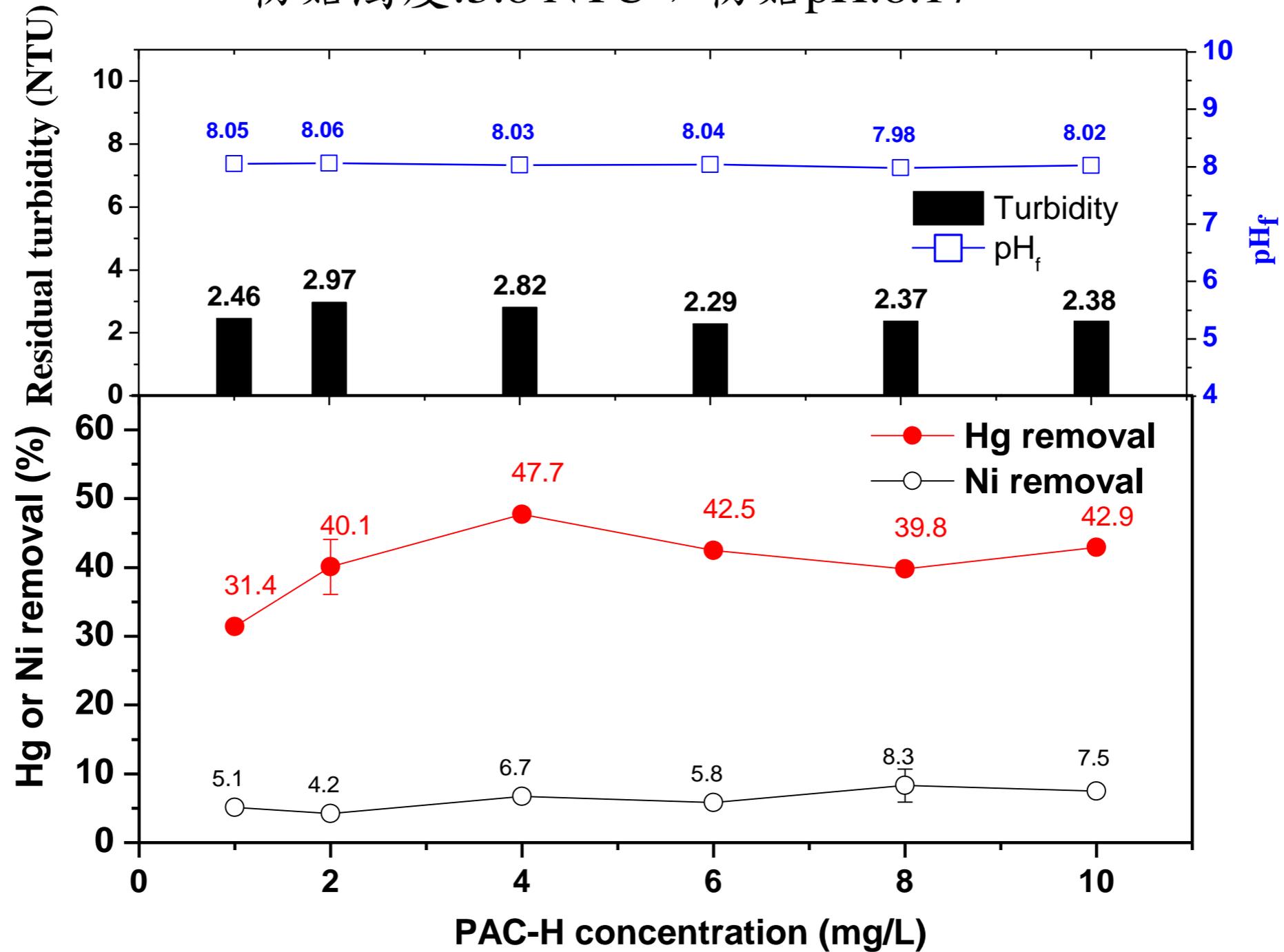


● FeCl₃對汞的去除率約20%，對鎳去除率約5%。



方法一：劑量效應-PAC-H

初始濁度:3.8 NTU；初始pH:8.17

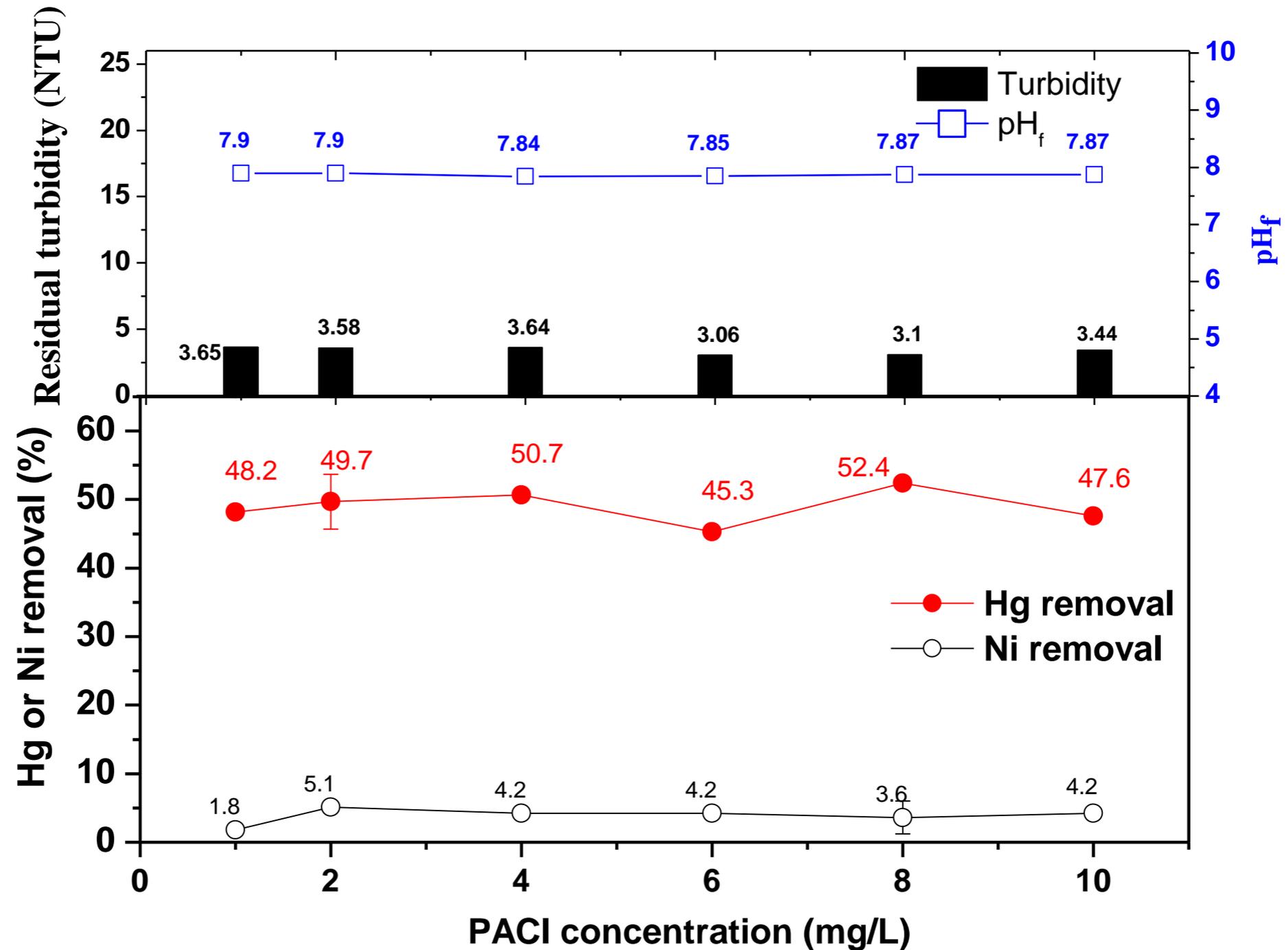


- PAC-H對汞的去除率約40%，對鎳去除率約5%。



方法二：雙混凝劑量效應-6 mg/L PACl +x mg/L FeCl₃

初始濁度:3.8 NTU；初始pH:8.17



- 雙混凝劑對汞的去除率優於PACl和FeCl₃。



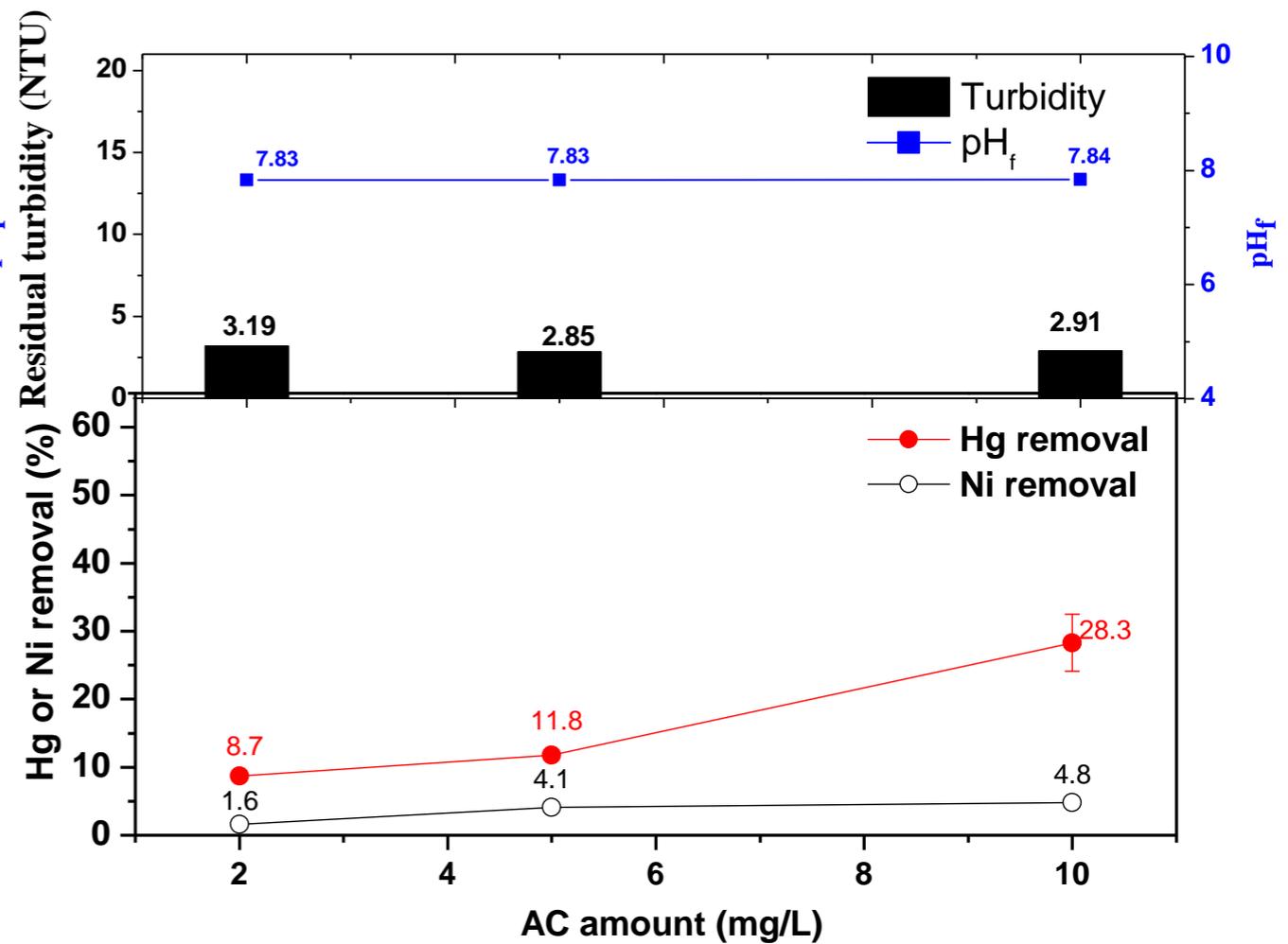
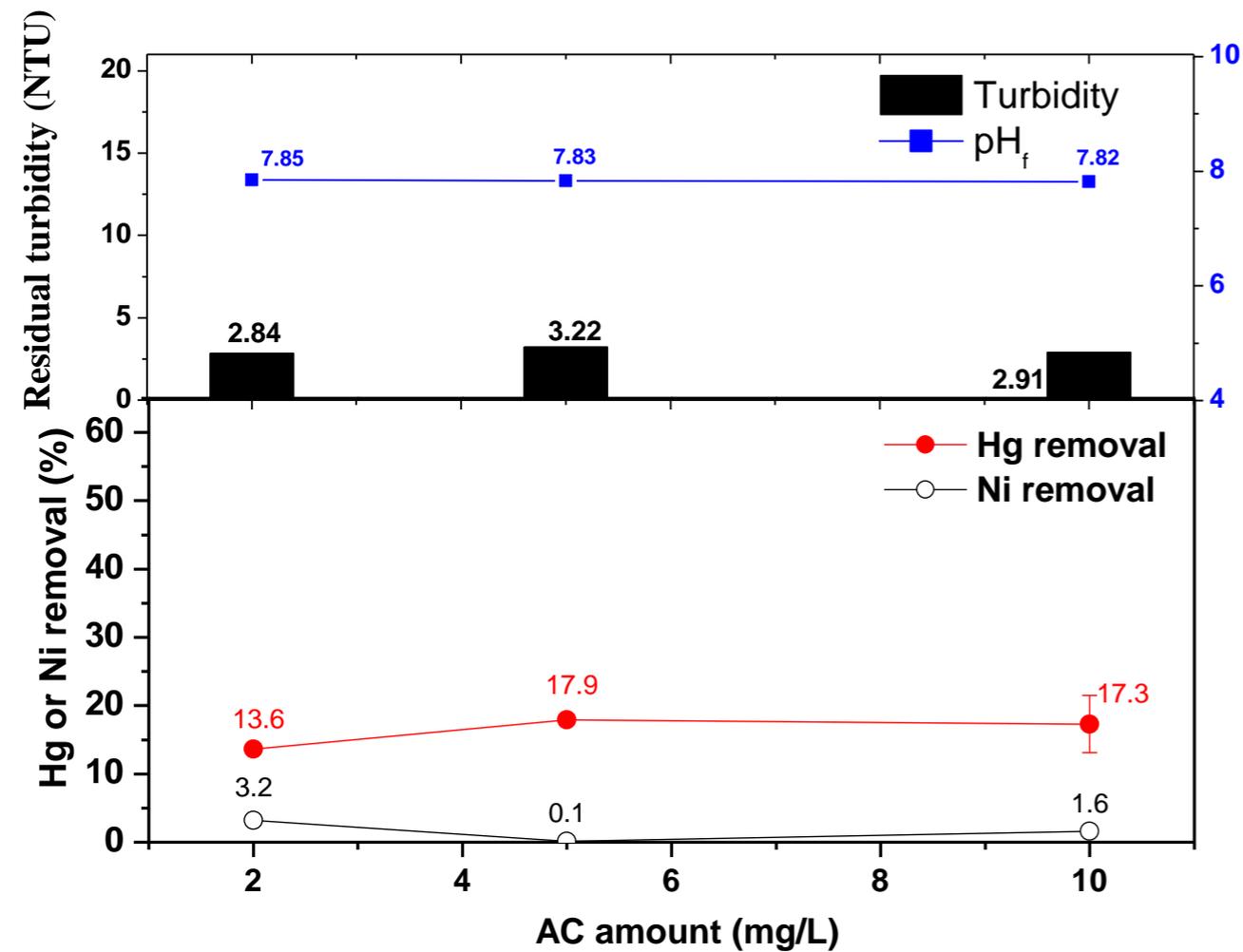
方法三:活性碳+化學混凝(同時討論反應時間)

初始濁度:3.8 NTU；初始pH:8.17

添加活性碳(2 mg/L、5 mg/L、10 mg/L)於快混池，再添加6 mg/L多元氯化鋁。

300 rpm快混5秒，再調為55 rpm慢混5分鐘，移高攪拌槳後靜置10分鐘

300 rpm快混5秒，再調為55 rpm慢混10分鐘，移高攪拌槳後靜置20分鐘

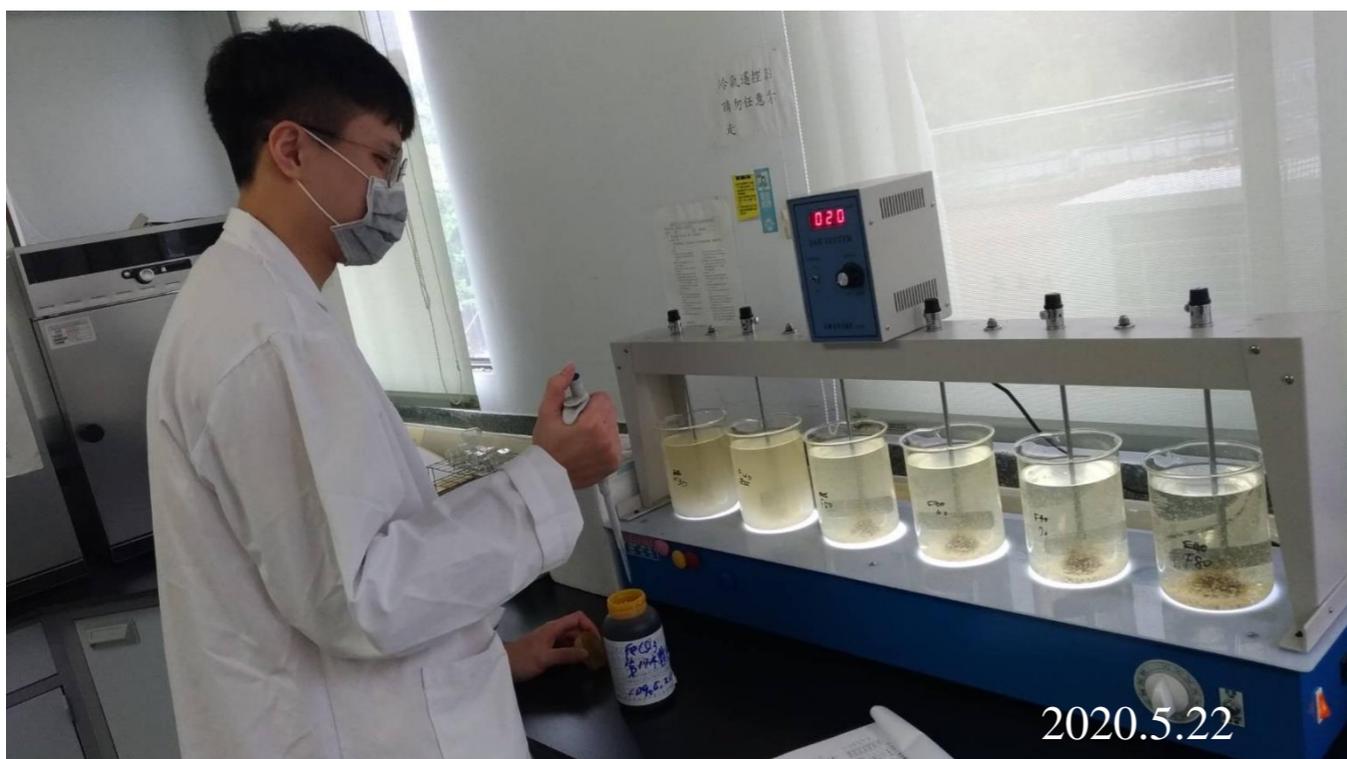


- 添加活性碳於快混池無助於汞鎳的去除，需提高活性碳用量與接觸時間才有明顯改善。



高風險淨水場駐場試驗

南化淨水場



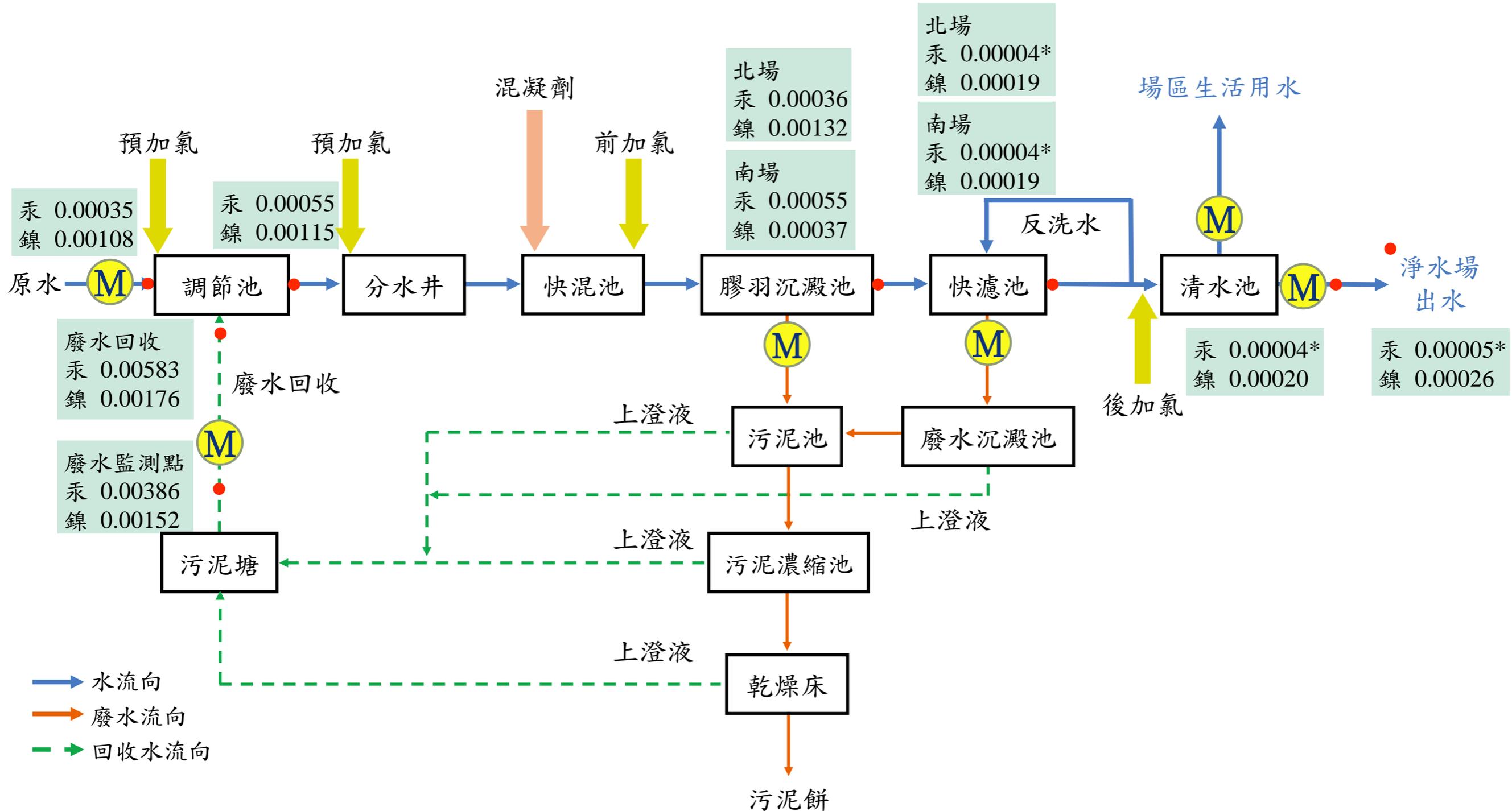


高風險淨水場駐場試驗

南化淨水場各淨水單元汞鎳數據

單位：mg/L

採樣日期：5/7 (四)

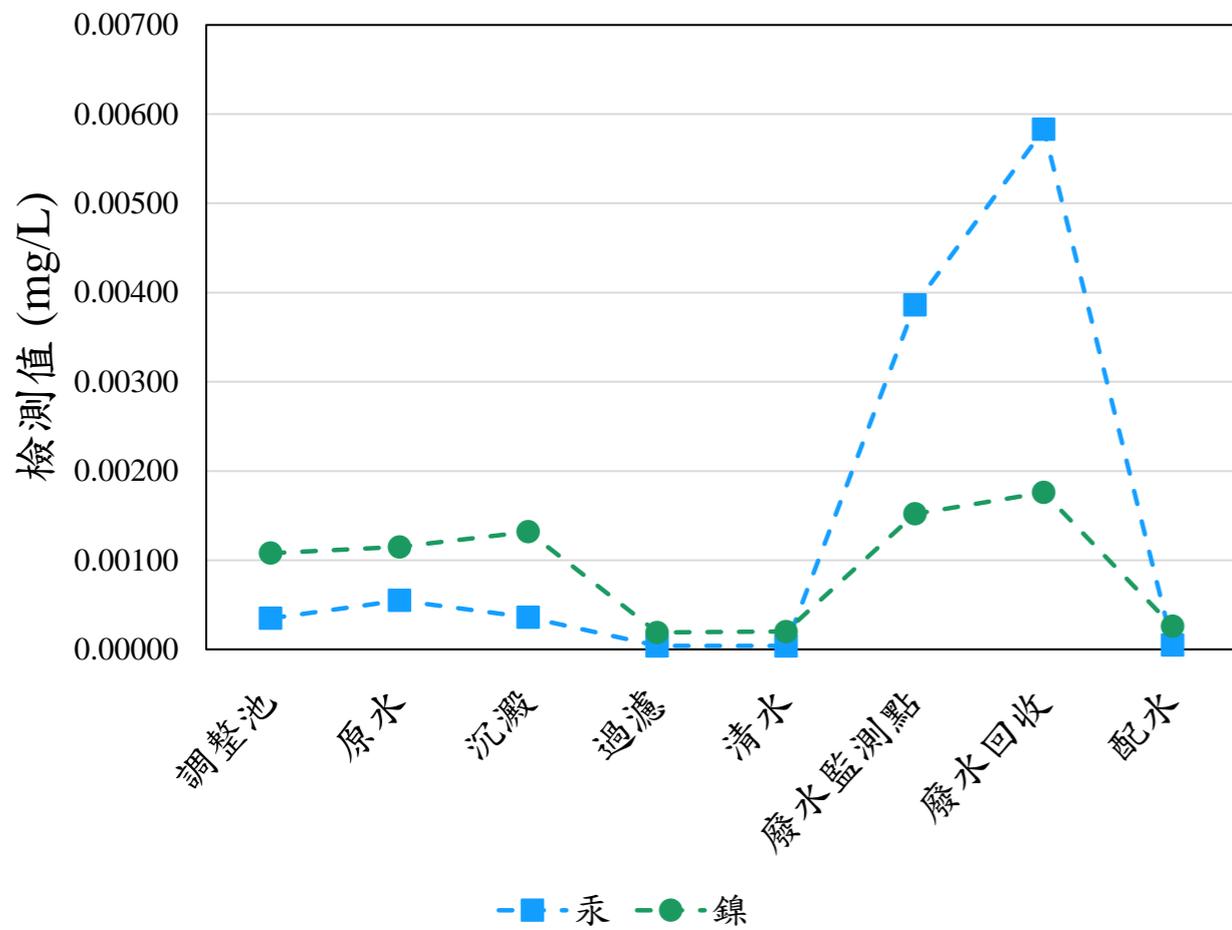




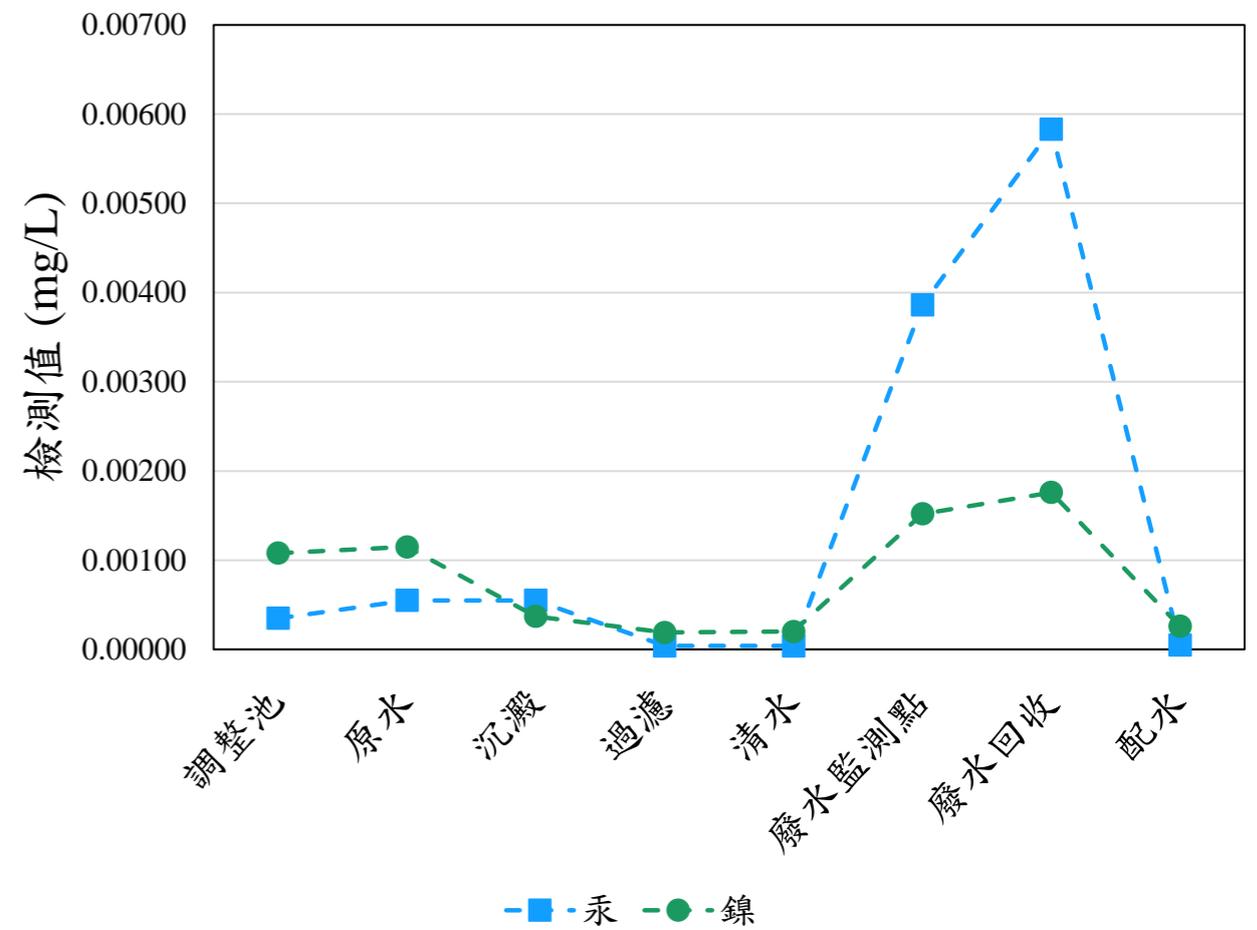
高風險淨水場駐場試驗

南化淨水場各淨水單元汞鎳數據

南化淨水場(北場)



南化淨水場(南場)





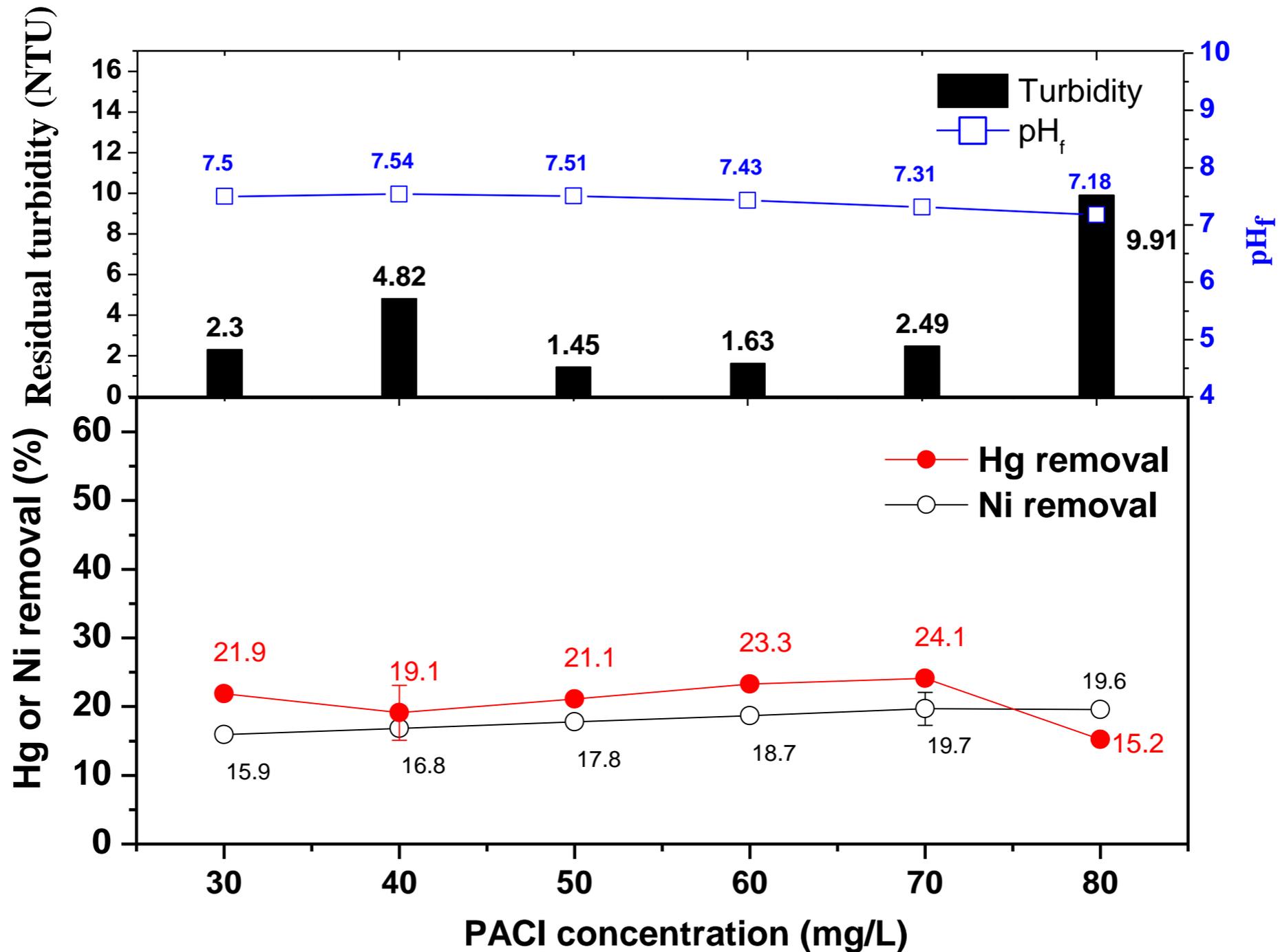
南化淨水場駐場混凝數據

250 rpm快混35秒，再調為20 rpm慢混20分鐘，移高攪拌槳後靜置6分鐘，

方法一：劑量效應-PACl

實驗日期：2020.05.22

初始濁度:328 NTU；初始pH:8.2

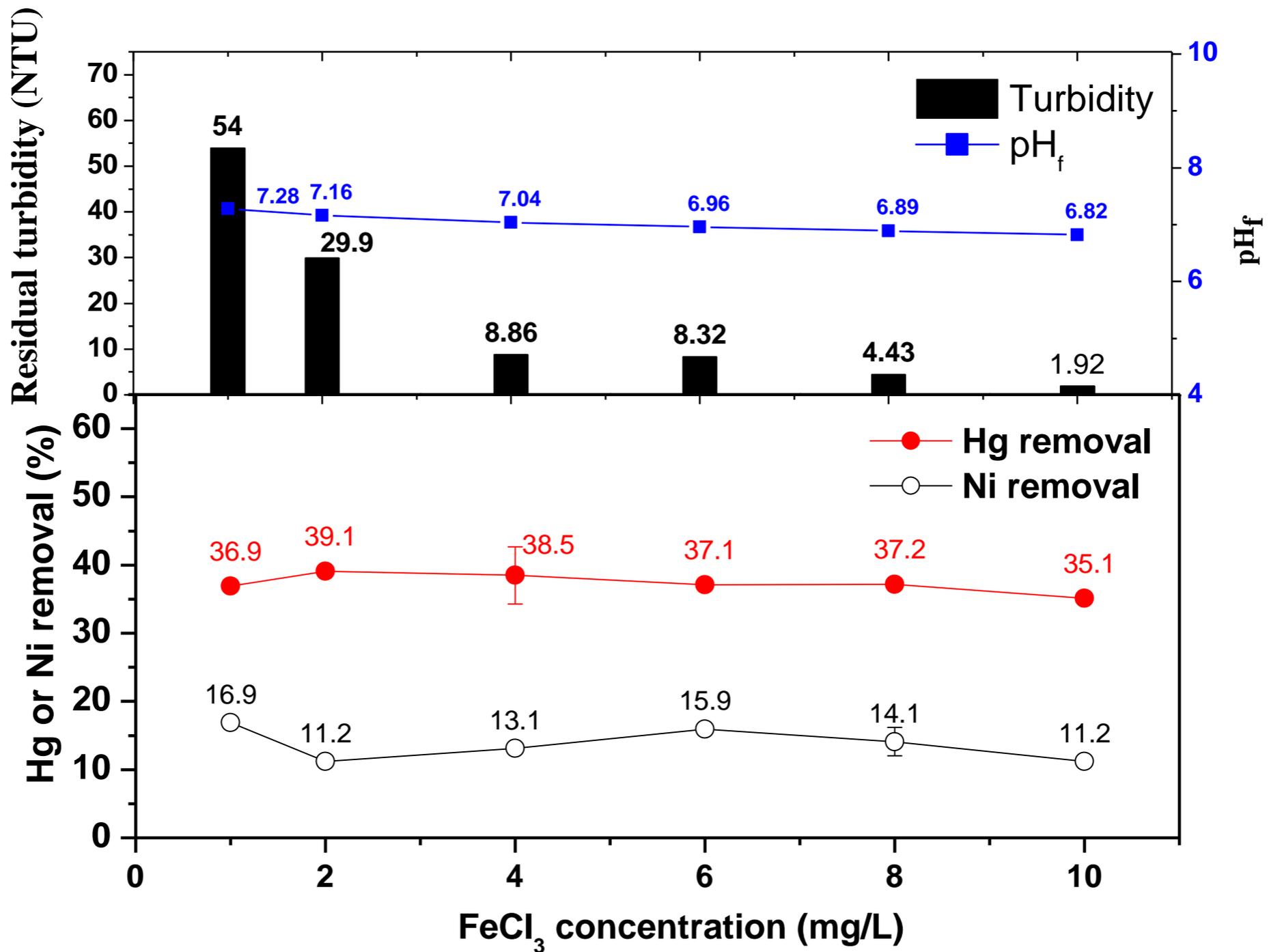


- PACl對汞的去除率約20%，對鎳去除率約17%。



方法一：劑量效應- FeCl_3

初始濁度:328 NTU；初始pH:8.2

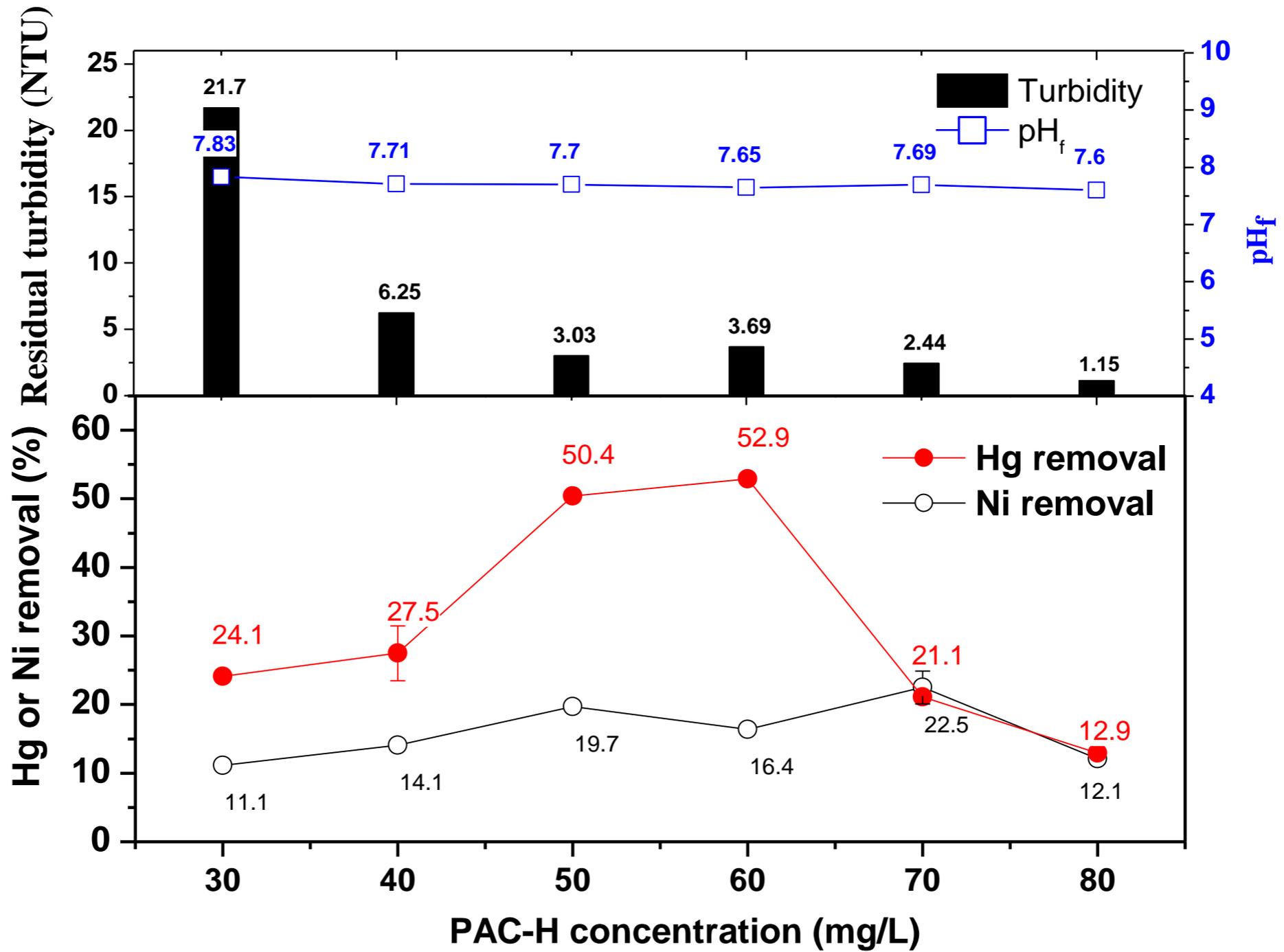


- FeCl_3 對汞的去除率約36%，對鎳去除率約13%。



方法一：劑量效應-PAC-H

初始濁度:328 NTU；初始pH:8.2

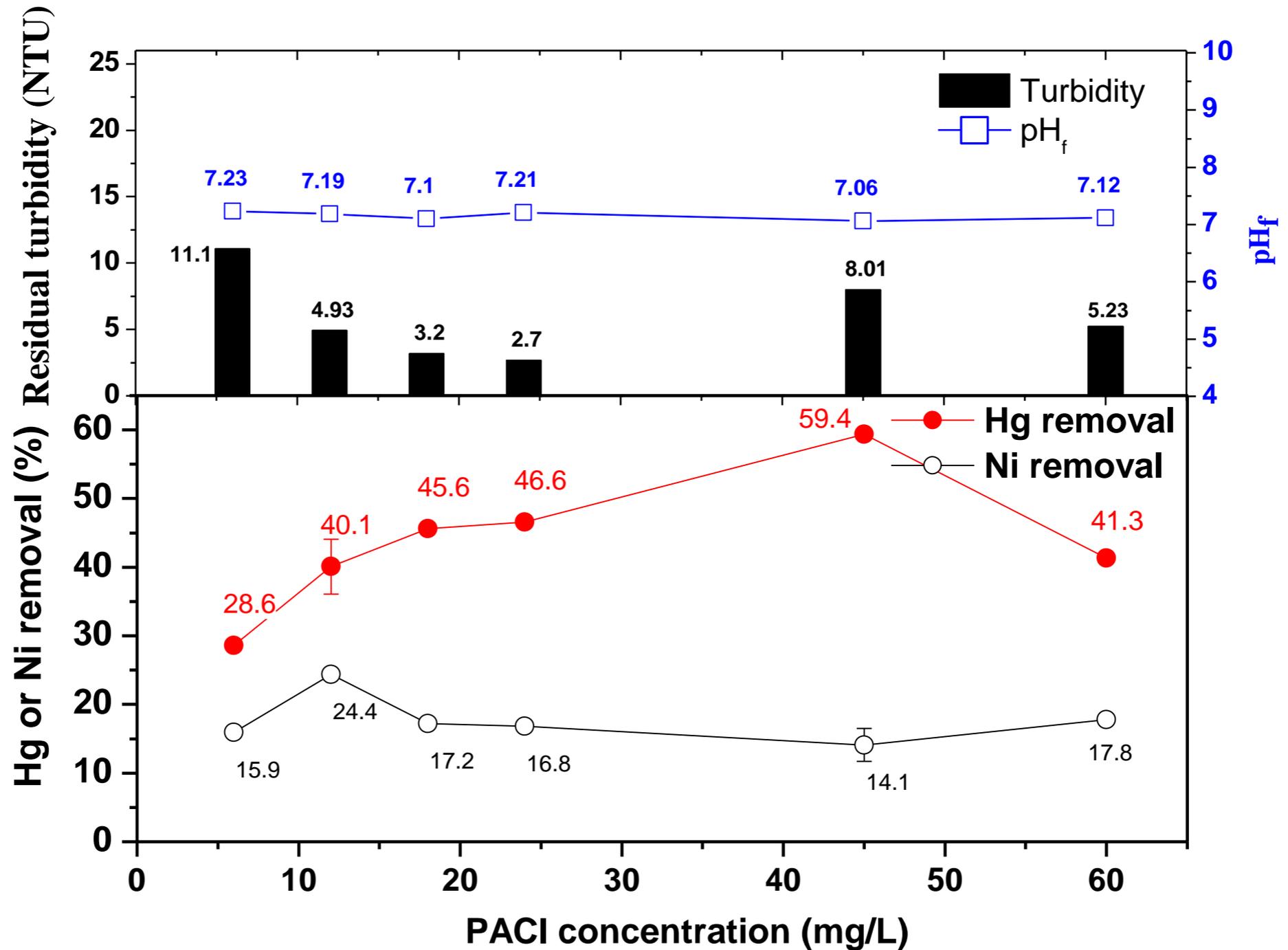


- PAC-H對汞的最佳去除率約50%，對鎳去除率約15%。



方法二：雙混凝劑量效應-60 mg/L FeCl₃ +x PACI

初始濁度:328 NTU；初始pH:8.2



- 雙混凝劑對汞鎳的去除率優於PACI和FeCl₃。



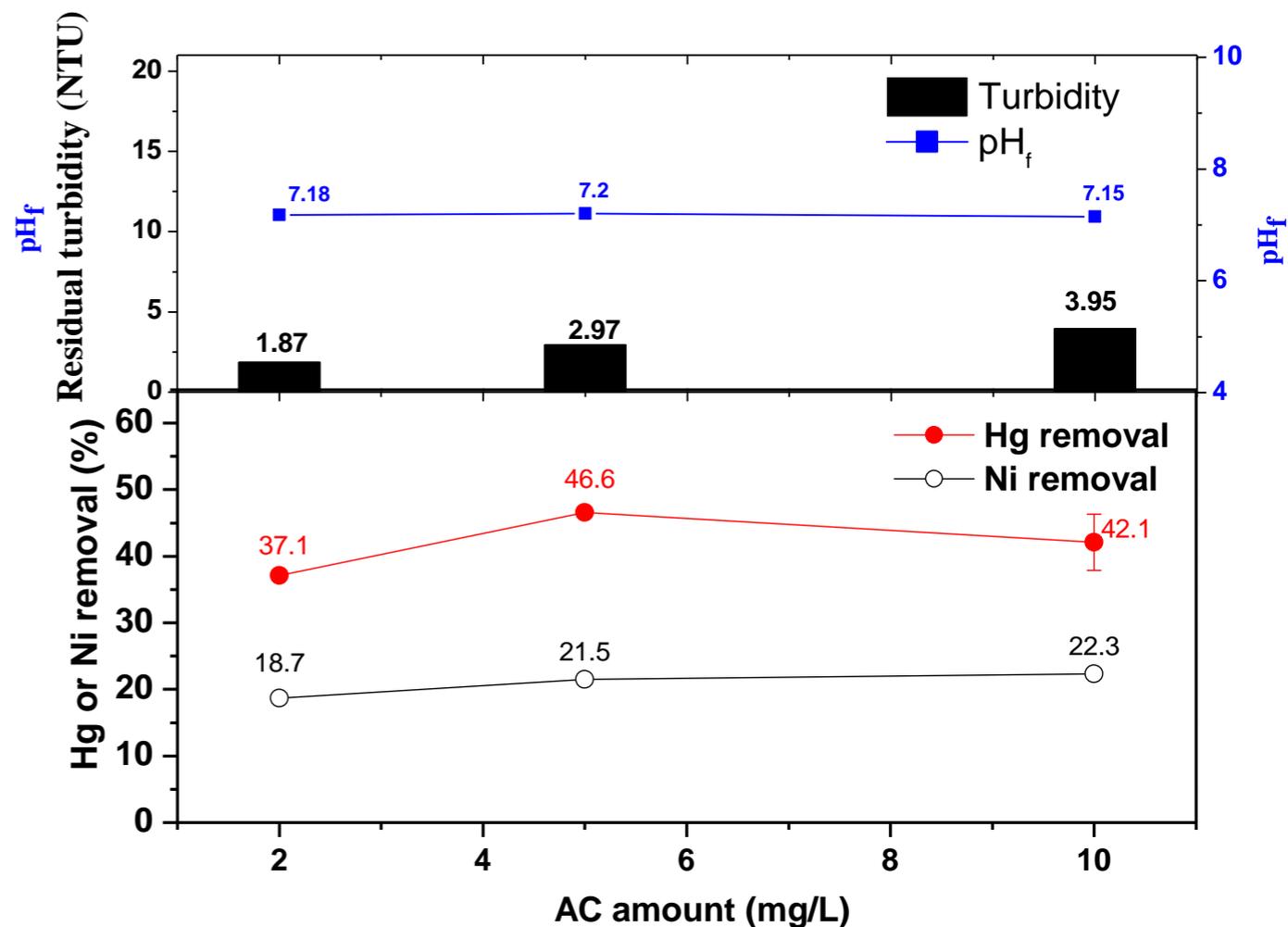
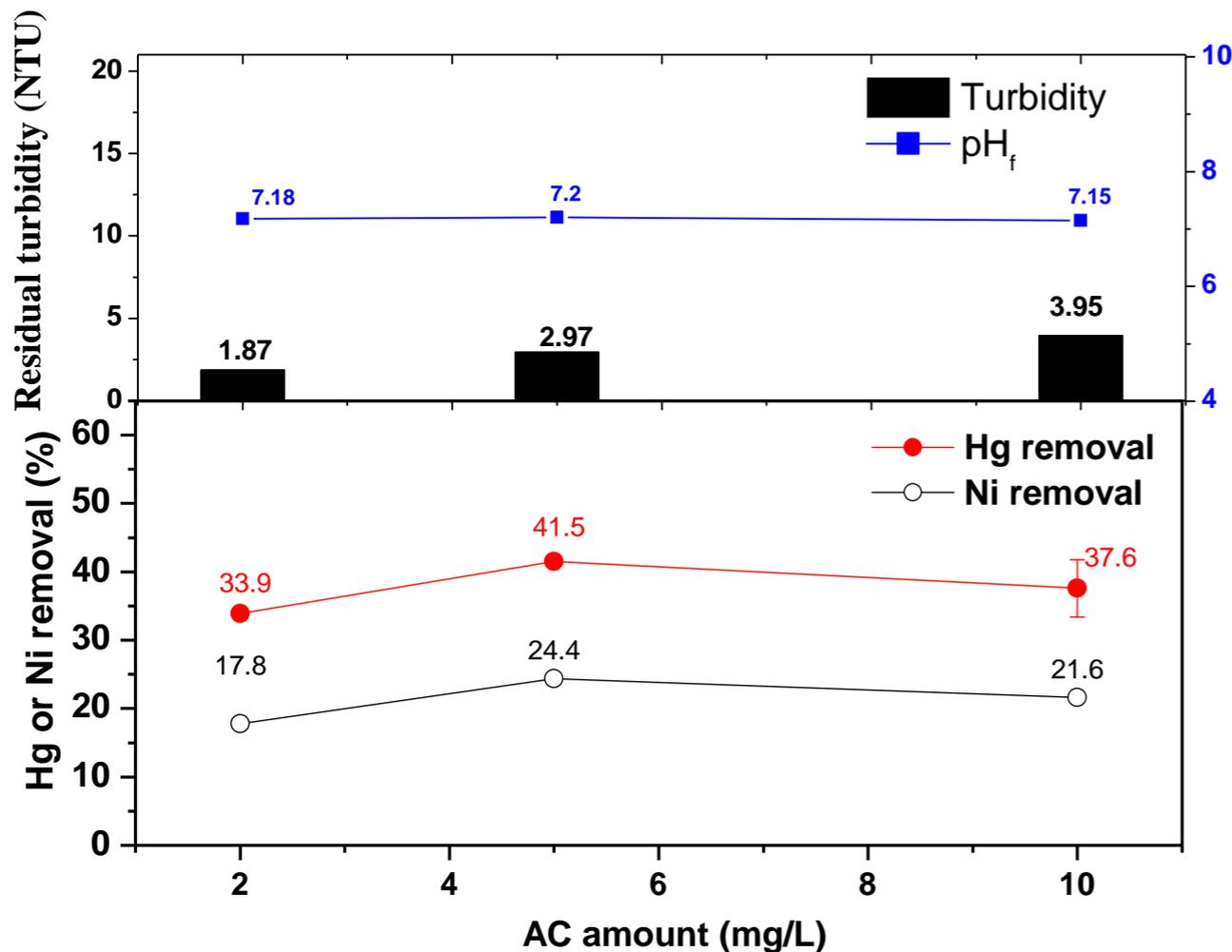
方法三:活性碳+化學混凝(同時討論反應時間)

初始濁度:3.8 NTU；初始pH:8.17

添加活性碳(2 mg/L、5 mg/L、10 mg/L)於快混池，再添加6 mg/L多元氯化鋁。

300 rpm快混25秒，再調為20 rpm慢混20分鐘，移高攪拌槳後靜置4分鐘

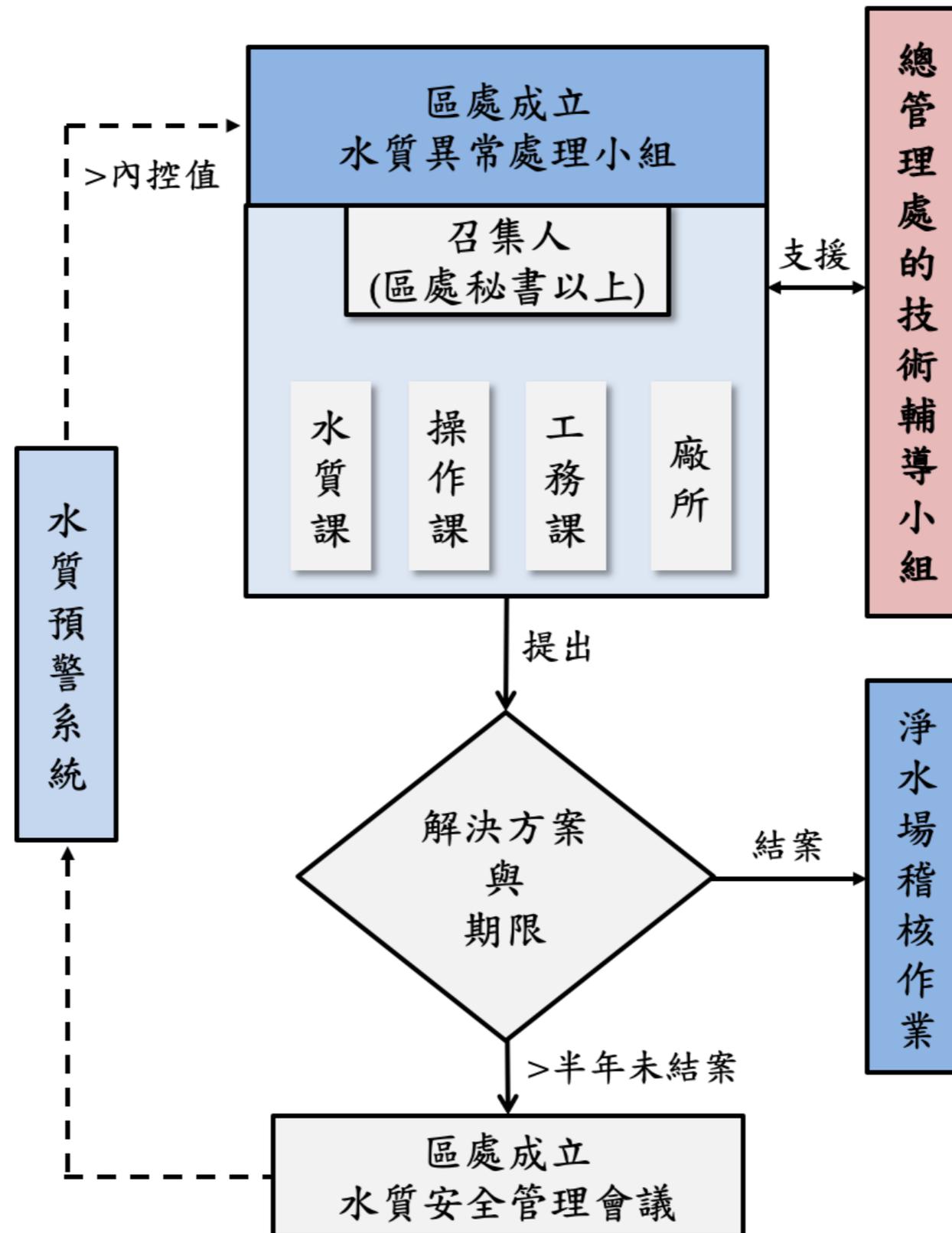
250 rpm快混35秒，再調為20 rpm慢混20分鐘，移高攪拌槳後靜置6分鐘



- 添加活性碳於快混池有助於汞鎳的去除，提高活性碳用量與接觸時間可有更明顯改善。

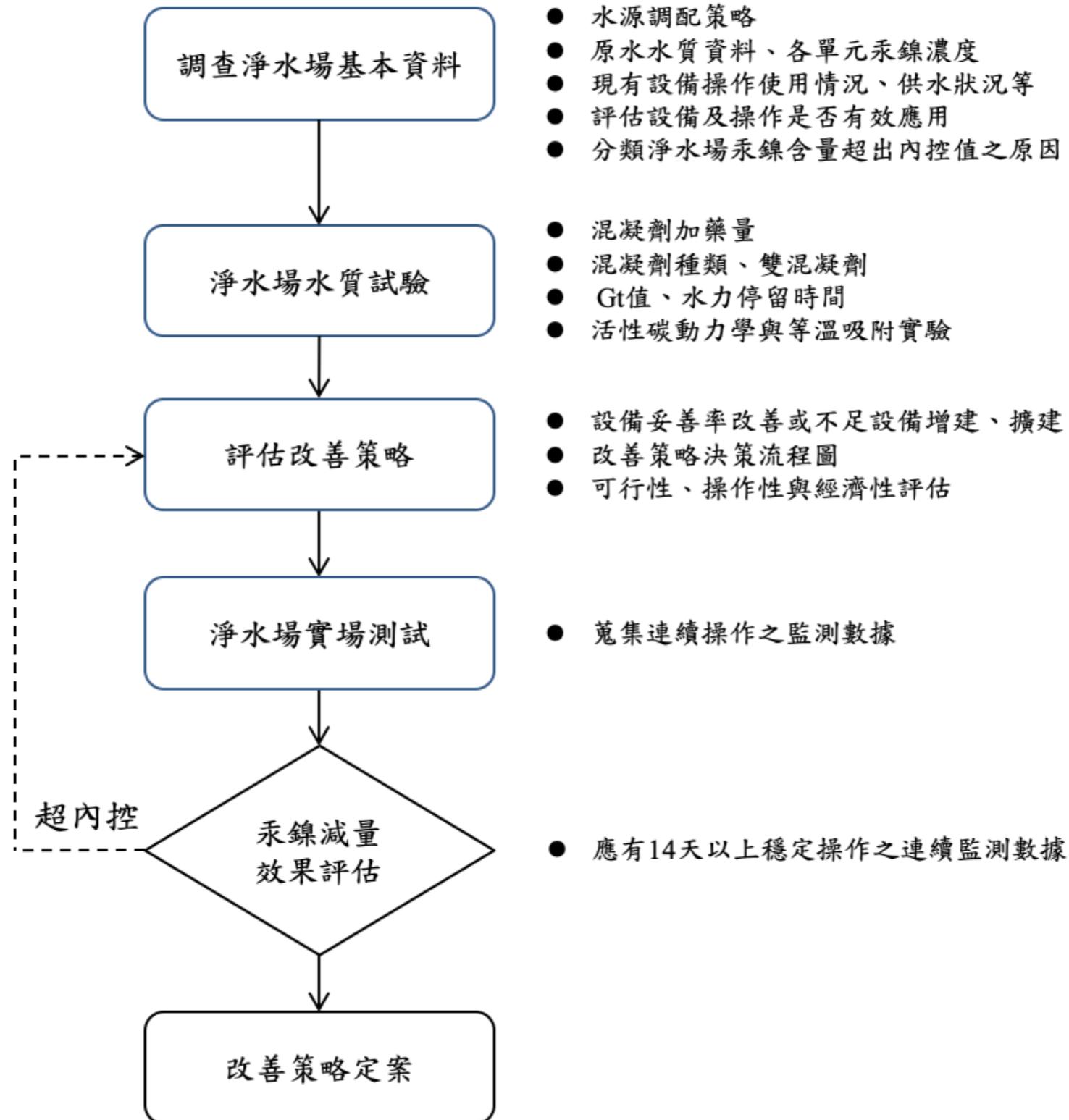


標準作業流程(1/2)



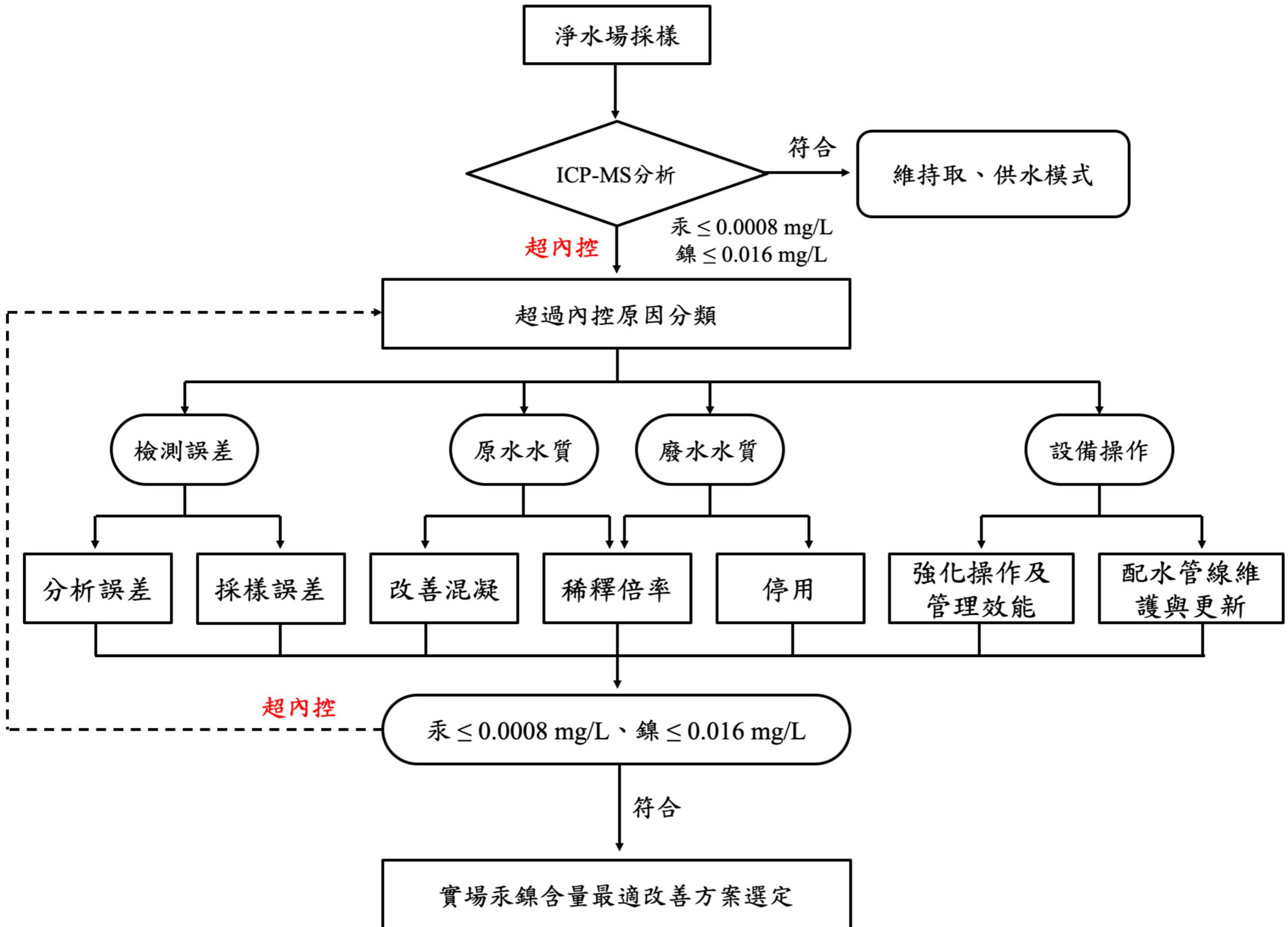


標準作業流程(2/2)



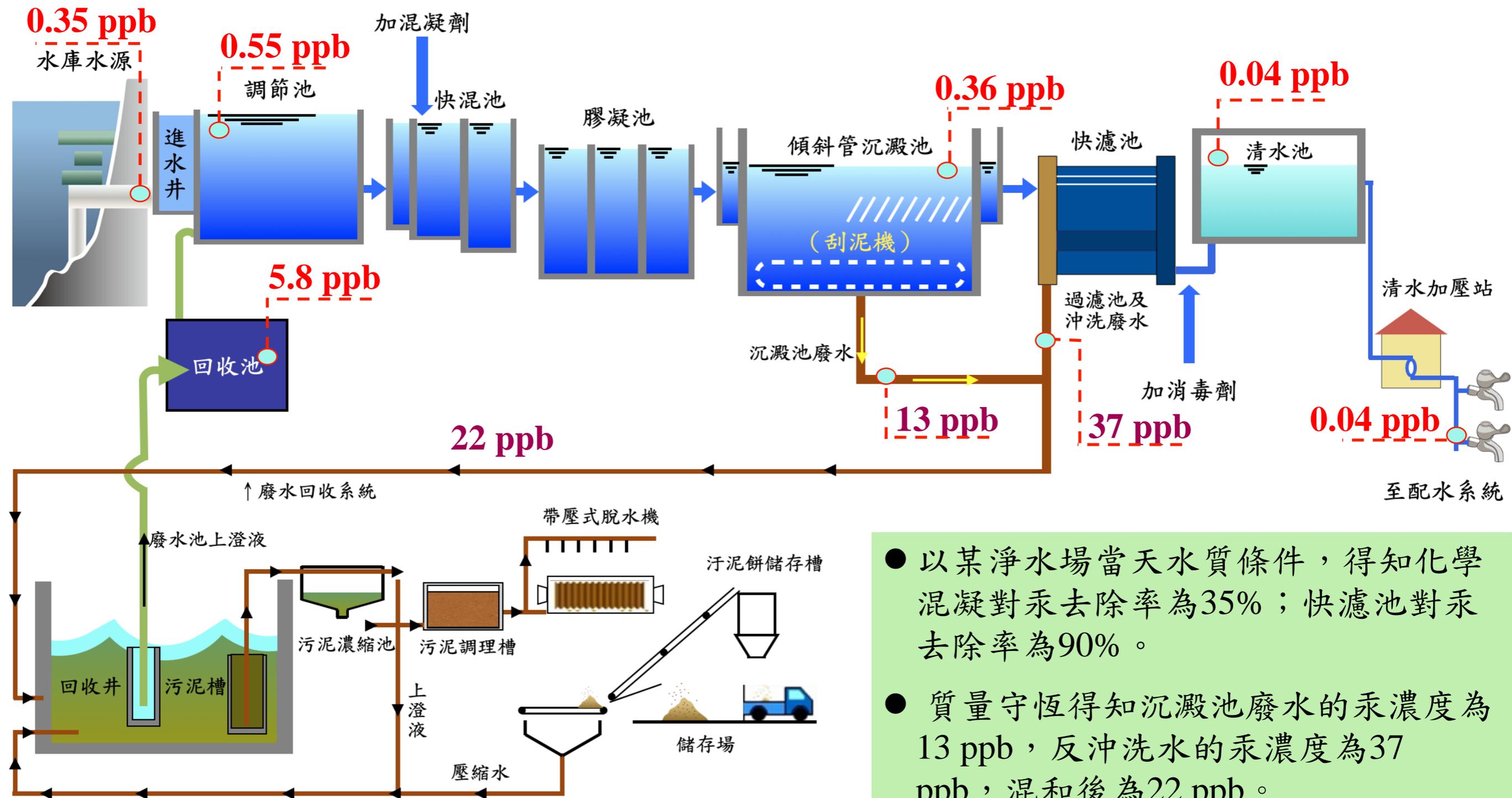


評估汞鎳含量改善策略





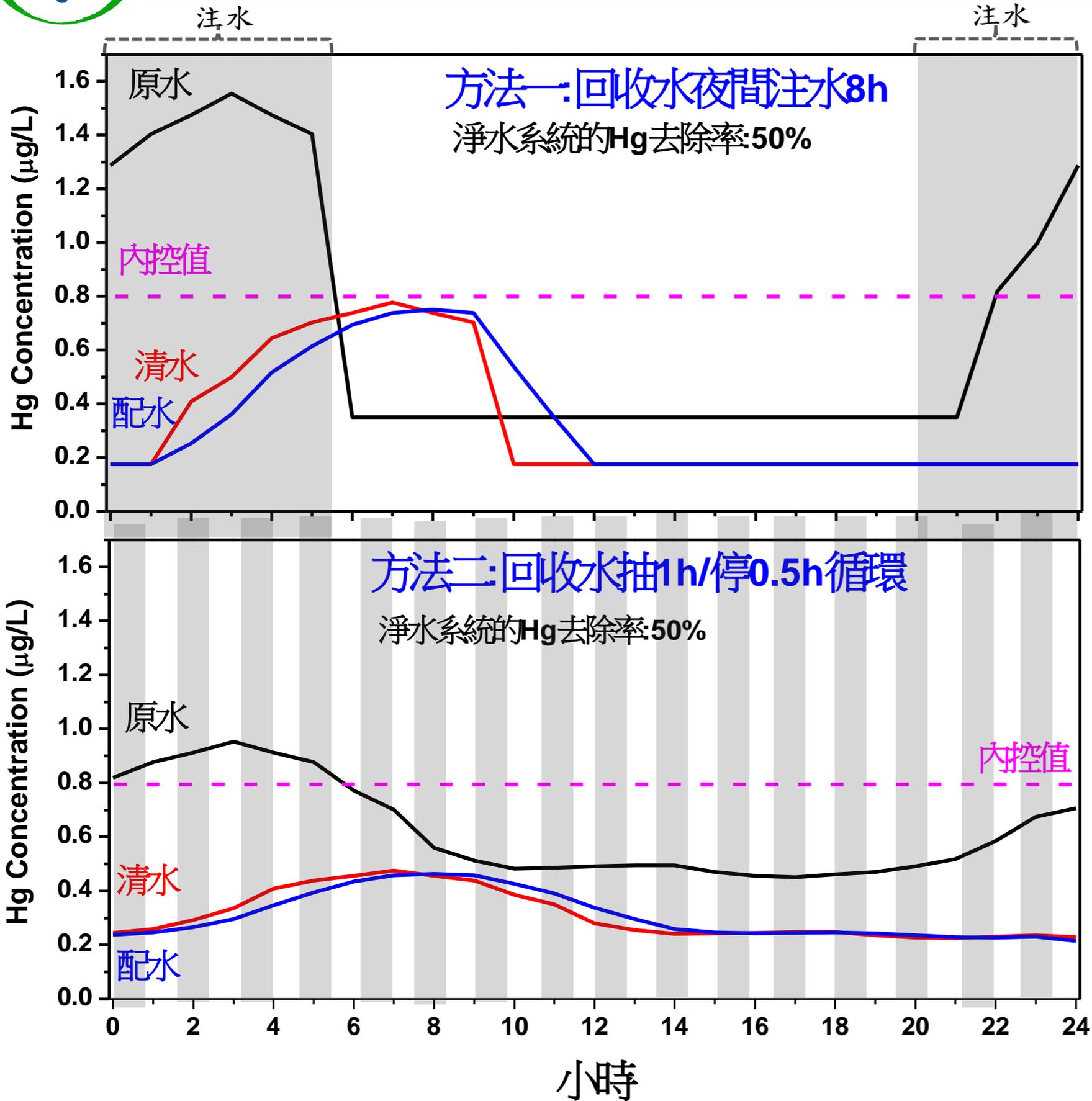
淨水單元中汞的流佈



- 以某淨水場當天水質條件，得知化學混凝對汞去除率為35%；快濾池對汞去除率為90%。
- 質量守恆得知沉澱池廢水的汞濃度為13 ppb，反沖洗水的汞濃度為37 ppb，混和後為22 ppb。
- 廢水沉澱池對Hg的去除率約75%。



汞濃度時變遷—估算模式



原水流量	350000	噸
回收水流量	8000	噸
回收水小時流量	1000	噸
水力停留時間	4	小時
清水池容積	3	小時當量
24小時用水量	時變遷量	
反沖洗水	3000	噸
沉澱廢水	5000	噸

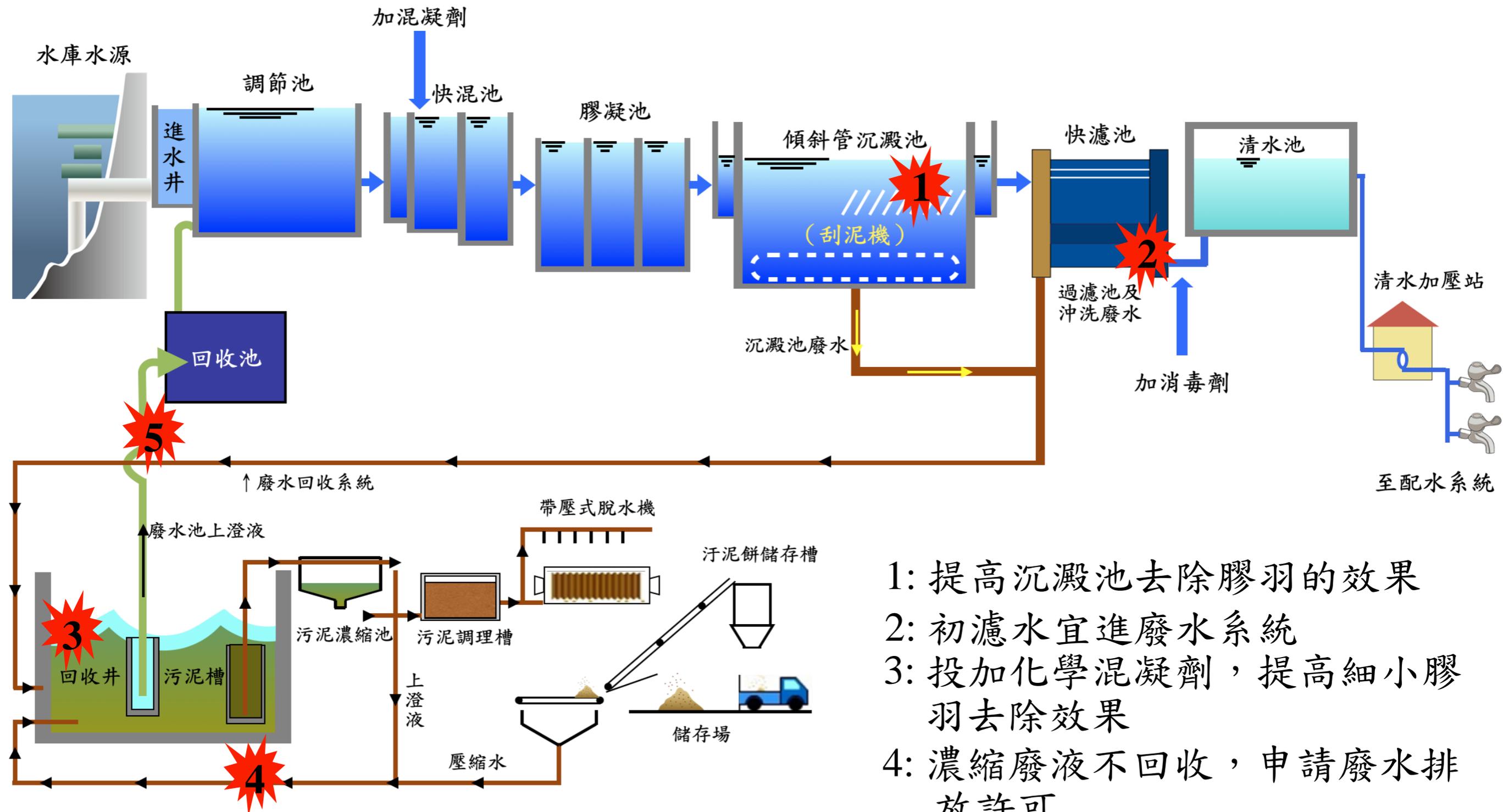
- 方法一的原水最高超內控值為 $1.6 \mu\text{g/L}$ ，一天當中超內控時數為**9小時**。清水的最高值是 $0.77 \mu\text{g/L}$ ，高峰區發生在4點到9點。配水的最高值是 $0.75 \mu\text{g/L}$ ，高峰區發生在5點到10點。

- 方法二的原水最高超內控值為 $0.95 \mu\text{g/L}$ ，一天當中超內控時數為**6小時**。清水的最高值是 $0.47 \mu\text{g/L}$ ，高峰區發生在4點到11點。配水的最高值是 $0.46 \mu\text{g/L}$ ，高峰區發生在5點到12點。

- 方法一(回收水夜間注水)導致汞超內控的風險較高於方法二(注/停循環)。



建議操作方式或新增設施



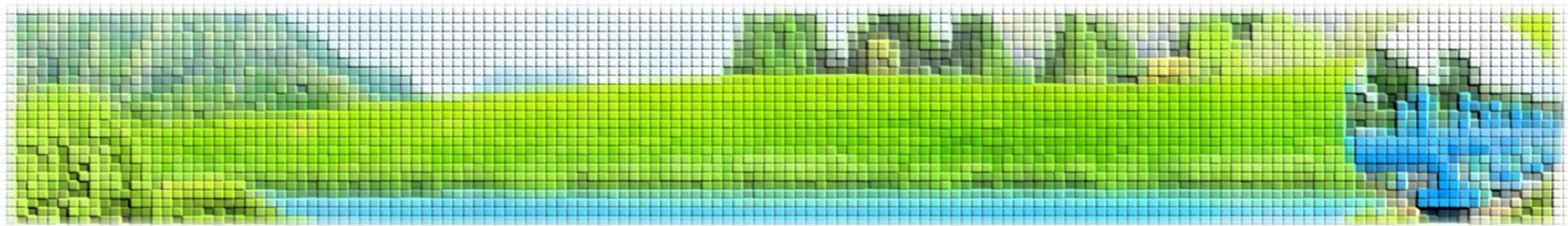
- 1: 提高沉澱池去除膠羽的效果
- 2: 初濾水宜進廢水系統
- 3: 投加化學混凝劑，提高細小膠羽去除效果
- 4: 濃縮廢液不回收，申請廢水排放許可
- 5: 增設回收水處理單元(過濾或 CDI)，其濃縮液不回收

分類	可能原因	建議改善措施
水源	<p>(1) 地面水的汞來源可能是大氣沉降、地質條件等。</p> <p>(2) 地下水的汞來源可能是農業活動。</p> <p>(3) 水源中的鎳來源可能是地質條件與工業活動。</p>	<p>(1) 調整水庫取水位置與高度。</p> <p>(2) 尋求替代水源。</p> <p>(3) 水源調配策略在豐水期以地面水為主、枯水期以地下水為主。</p>
淨水場操作	<p>(1) 處理設備效能不彰或設備不足者。</p> <p>(2) 反沖洗水中細小膠羽吸附汞鎳。</p> <p>(3) 廢水處理設備效能不佳。</p> <p>(4) 回收水中含高濃度汞鎳。</p>	<p>(1) 混凝劑可因地制宜採用最適合混凝劑或雙混凝劑(多元氯化鋁和氯化鐵)。</p> <p>(2) 提高膠羽沉澱池的效能。</p> <p>(3) 快濾池反沖洗後的初濾水接管進入廢水處理系統。</p> <p>(4) 簡易淨水場可新增快濾桶，或既有快濾桶可以粒狀活性炭取代石英砂或無煙煤濾料。</p> <p>(5) 於快濾池之後，覓地增建活性炭過濾槽。</p> <p>(6) 在分水井中提高原水/回收水的流量比例，達到合理稀釋倍數。</p> <p>(7) 申請廢水排放許可證，達到廢水全排放。</p> <p>(8) 快濾池反沖洗水直接進廢水處理單元，減少回收的比例。</p> <p>(9) 添加混凝劑或聚合物(可採用非飲用水水質處理藥劑)提高廢水處理效能。</p> <p>(10) 回收廢水需經快濾桶處理，此快濾桶的反沖洗水直接進入廢水處理系統。</p>
水質管理	<p>(1) 豐水期時，地面水的鎳變動較大。</p> <p>(2) 枯水期時，地下水的汞變動較大。</p>	<p>(1) 建立汞鎳濃度超內控值的管理機制。</p> <p>(2) 針對以地下水源的枯水期，增加汞採樣分析頻率，由每季一次改為每月一次。</p> <p>(3) 提升汞鎳檢驗分析能力，以因應加嚴後的低濃度限值。</p> <p>(4) 建立淨水場的全流程採樣汞鎳分析資料庫，以了解汞鎳的高風險位置。</p>



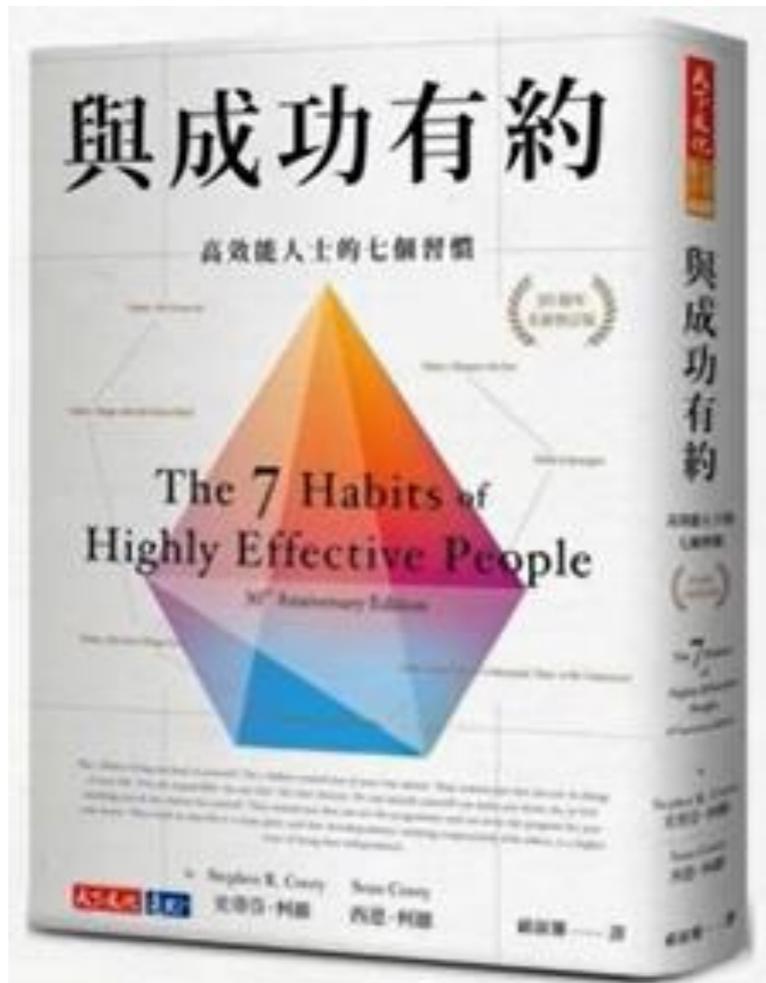
結論與建議

- 汞在清水和配水超標頻率高於鎳，顯見汞超標問題較為急迫。
- 汞的去除主要是吸附、電性中和與共沉澱；鎳的去除是表面吸附。
- 沉澱池的汞鎳去除效率高時，回收水的汞鎳濃度不會顯著上升，相反地，若以快濾池為主要去除單元時，回收水中的汞鎳濃度會飆升。當稀釋倍數過低或是濃縮時間較長或廢水處理設備效能不彰等原因，導致其汞鎳超標風險較高。
- 各區管理處成立專責小組，調查淨水場基本資料、淨水場水質試驗、評估改善策略、淨水場實場測試、淨水場汞鎳減量效果評估及改善策略定案。申請廢水排放許可，減少汞鎳在淨水系統中的循環濃縮。
- 建議初濾水排放、廢水處理單元添加混凝劑或聚合物、回收水經快濾桶或是電容去離子處理，此濃縮水直接進入廢水處理系統。提升汞鎳檢驗分析能力。依照水安全計畫的概念管理汞鎳的風險。





Stephen R. Covey



The **7** HABITS Of Highly Effective People

- 1 Be Proactive **主動積極**
- 2 Begin With The End In Mind **以終為始**
- 3 Put First Things First **要事第一**
- 4 Think Win-Win **雙贏思維**
- 5 Seek First To Understand,
Then To Be Understood **知彼解己**
- 6 Synergize **統合綜效**
- 7 Sharpen The Saw **不斷更新**

7個成功思維與10個WSP步驟的關係

