



2009年中華核能學會年會暨用過核燃料管理策略研討會

(核反應器水化學委員會及核燃料與材料委員會研討會)

國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

核能研究所 化學組

溫冬珍



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

內 容

- 1.前言
- 2.核一廠水質改善
- 3.核二廠水質改善
- 4.水質改善成效
- 5.目前水質面臨的問題及可能之管理趨勢
- 6.國際沸水式反應器水化學趨勢



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

1. 前言

- * 電廠有不同預防性老化管理策略，環境之控制是策略中不可忽視之重要環節。
- * BWR水質控制以減少材質之IGSCC為主要目標，提昇運轉之安全性及可靠度。
- * 民國85年核一、二廠老化管理策略HWC評估報告，決定朝加氫之方向推動。
- * 化學績效指標強化且提升整體性之營運績效。
 - (1) 爐水中之 Cl^- 含量偶而仍呈現較不穩定之現象。
 - (2) 爐水 $\text{SO}_4^{=}$ 呈現較高的濃度，介於1.5~2.5ppb，起動甚至曾高達大於5 ppb。
 - (3) 飼水不溶鐵濃度微偏高達1.5~2.5ppb。



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

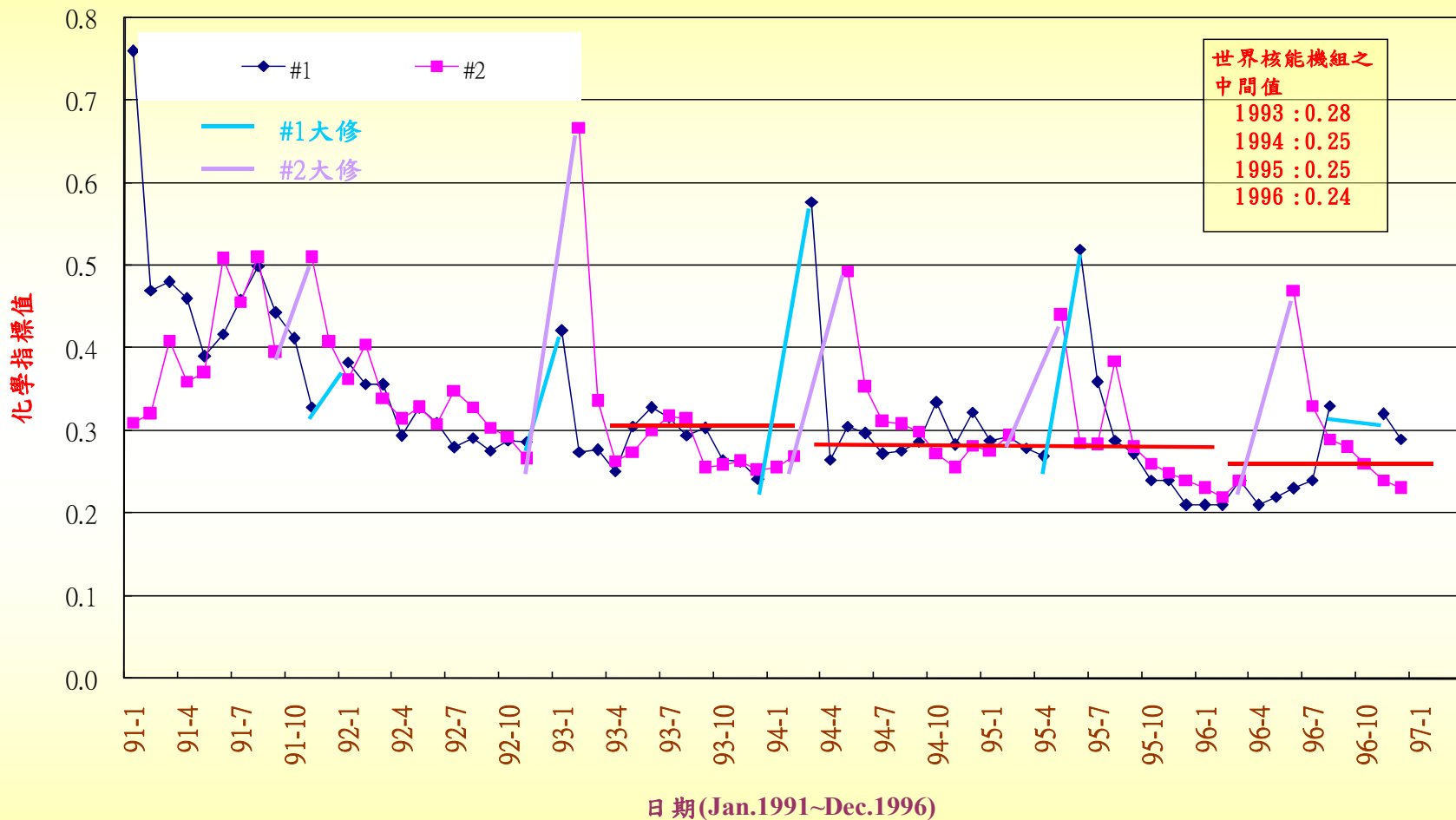


圖1. 核一廠化學指標

國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

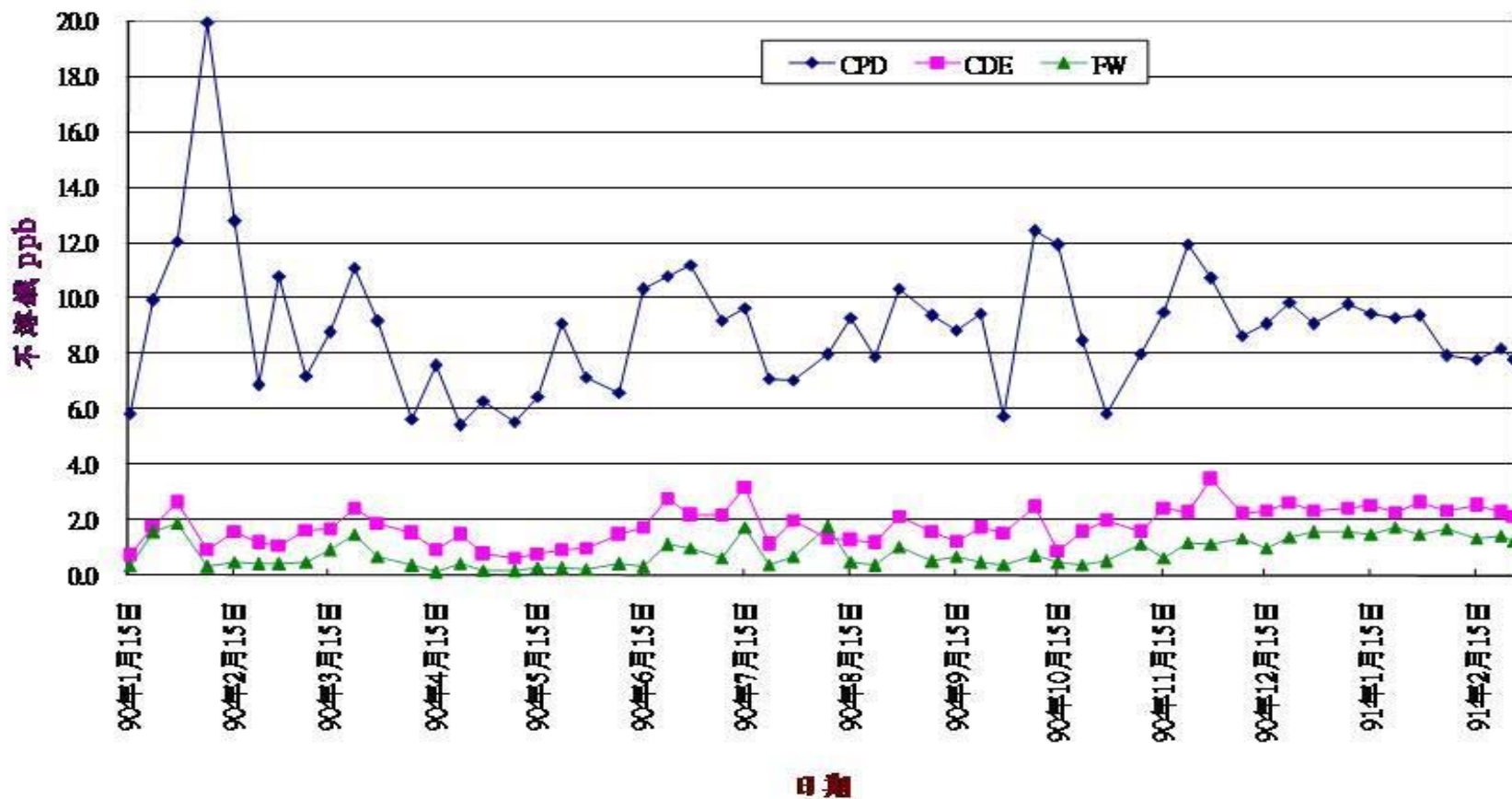


圖2. 核一廠#2凝結水與飼水系統水質不溶鐵變化圖



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

2. 核一廠水質改善

2.1 爐水氯離子偏高問題(87.07~88.10)

(1) 肇因：凝結水除礦器樹脂再生時分離不完全

(2) 建立鑑定及改善方法

a. 建立極微量 Cl^- 鑑定法找出可能產生 Cl^- 微洩漏之樹脂床。

b. 重新確實分離再生。



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

2.2 爐水硫酸根離子上升現象(87.07~88.10)

(1). 肇因

- a. 樹脂老化及劣化現象。
- b. RWCU預敷不佳，粉狀樹脂滲入。

(2). 建立鑑定及改善方法

- a. 運轉期間取樣鑑定碎樹脂洩漏，更換老化及劣化之樹脂與樹脂槽底部清洗。
- b. DST、CST、RWST Post U. V. Anions 之鑑定技術及測試方法。



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

2.3 建立微量硼之鑑定技術及洩漏評估(91.08~92.08)

- a. 協助建立微量硼之鑑定技術。
- b. 硼移除率研判及硼洩漏之評估。



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

2.4 二號機EOC-20大修後起動爐水氯離子上升肇因 (91.08~92.08)

- (a)新樹脂瀝出液與回收廢液Post UV anions 分析。
- (b)修訂新樹脂採購規範及建立樹脂使用前之浸泡與清洗程序。

2.5 建立DST、CST與RWST之Post UV Anion 之鑑定與 測試技術(92.01~94.01)



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

表1. Post UV 之Cl⁻分析與VOC分析推算之Cl⁻含量比較

Cl ⁻ 生成量 樹脂名稱	Post UV分 析 Cl ⁻ 生成量 mg/l-R	GC分析 VOC濃度		換算Cl ⁻ 濃 度mg/l-R	差值 (%)	Cl ⁻ 生成量 樹脂名稱
		CH ₃ C l (ppb)	CH ₂ ClC H ₂ Cl (ppb)			
1.陽離子樹 脂-A	0.215	21	—	0.015	93.0	1.陽離子樹 脂-A
2.陽離子樹 脂-B	0.59	28	—	0.020	96.6	2.陽離子樹 脂-B
3.核一樹脂 -II*	1.46	24	1490	1.087	25.5	3.核一樹脂 -II*

*樹脂瀝出液之GC分析中含有少量的1,1,2-trichloro ethane

國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

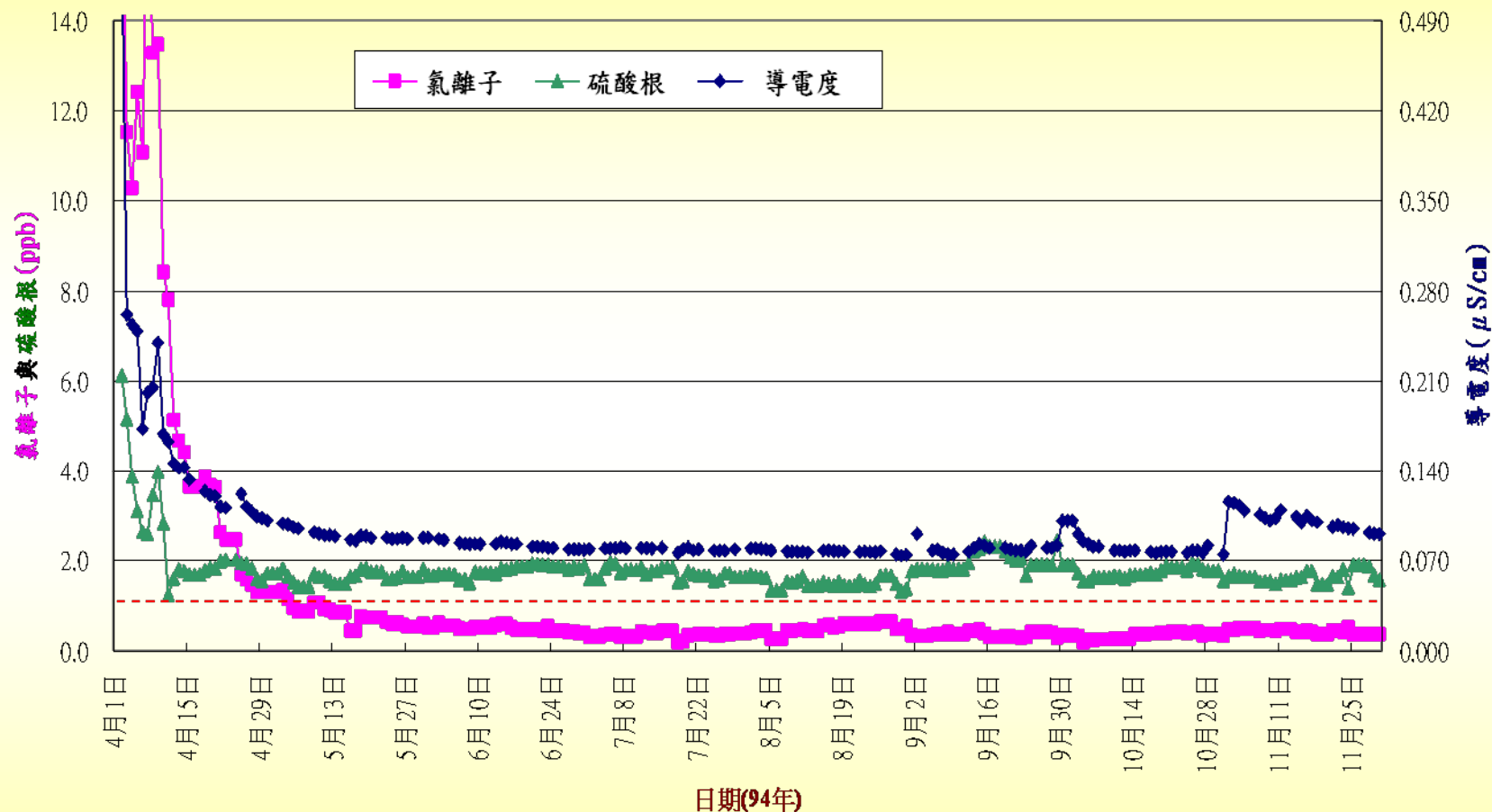
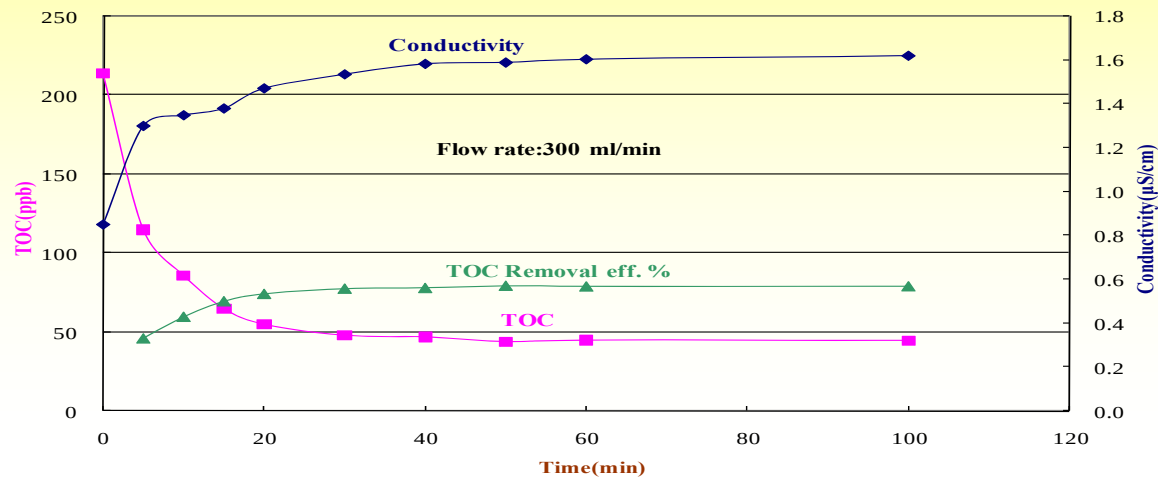


圖3. 核一廠二號機EOC-20大修後起動後爐水硫酸

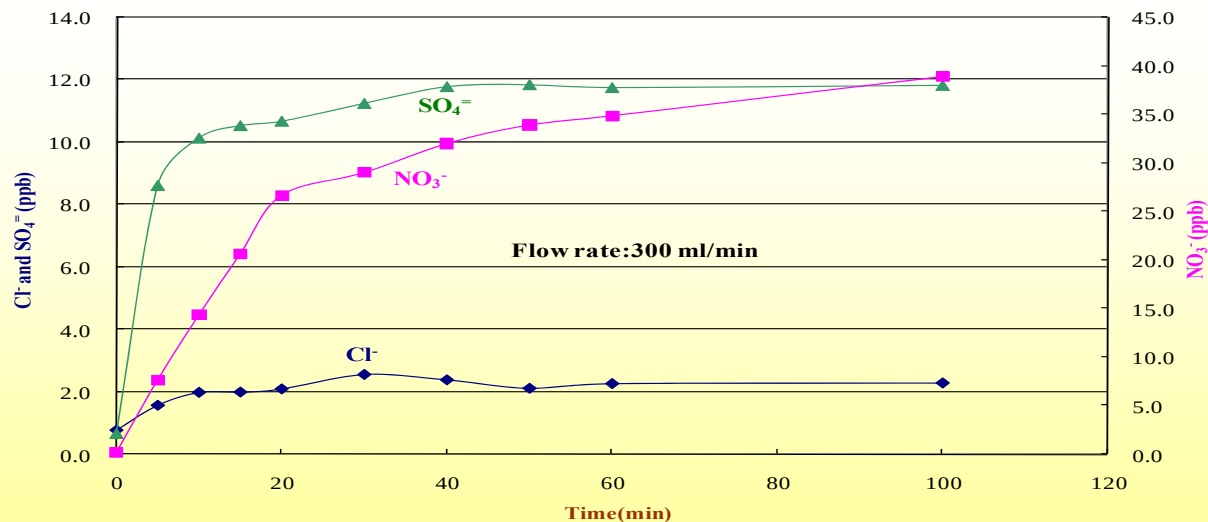


國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

(A) TOC變化



(B) 陰離子變化





國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

3. 核二廠水質改善

3.1 飼水管路沖洗之異常現象

- a. 鐵銹垢粒徑改變造成管路沖洗時間增長。
- b. 凝結水除礦器出口水質中半透明之膠狀物質為砂土之不定形物。
- c. 階段性沖洗管路前先行掌握每一區段之水質狀況以調配水質處理方式。
- d. 沖洗初期適度控制熱井水位，避免將爐水傾入熱井。
- e. 大修期間應盡量在執行沖洗前完成管路及泵檢修。
- f. 凝結水除礦器增設前置過濾器。

國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

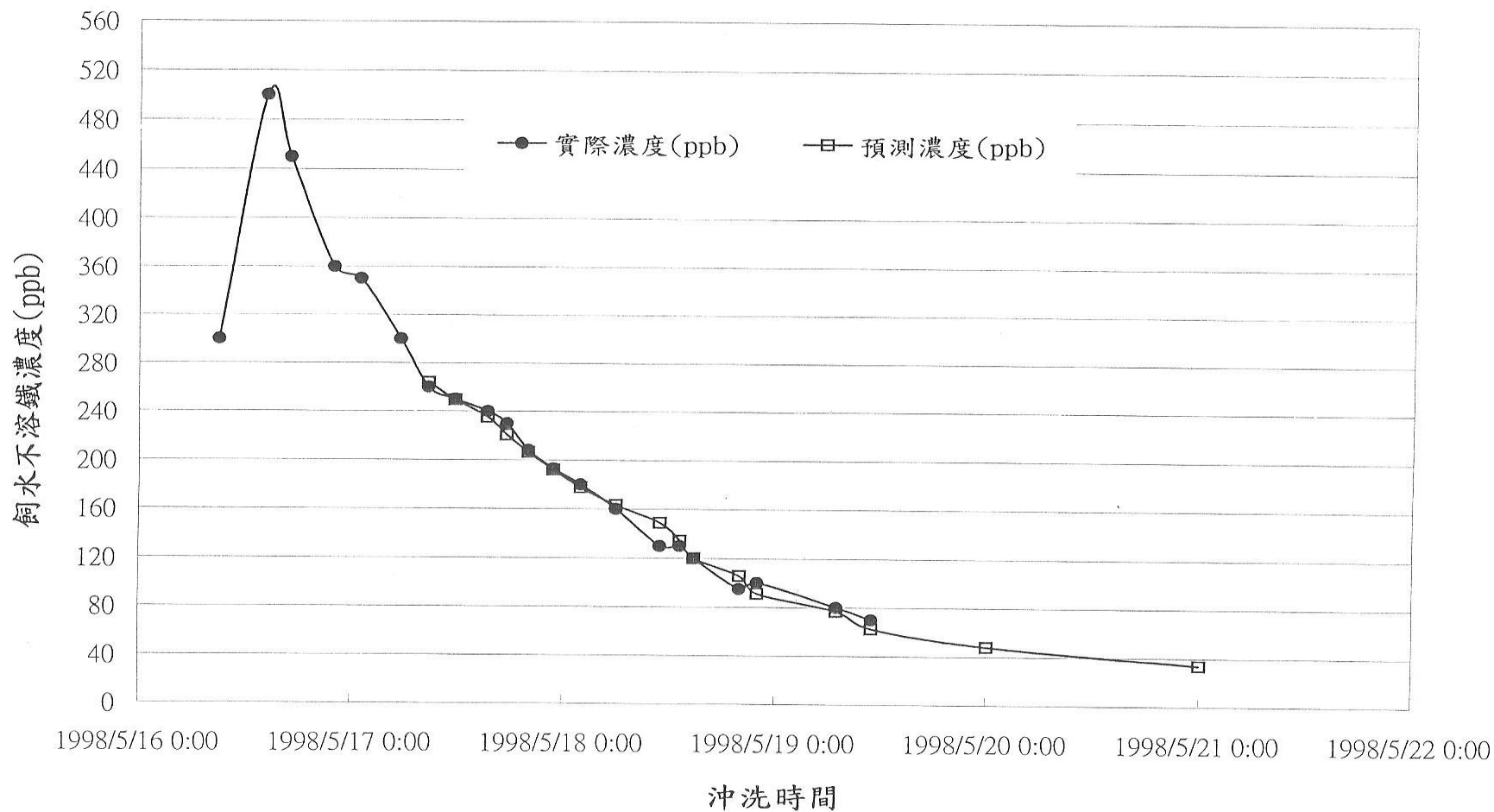


圖5. #2第13燃料週期啟動前沖洗之飼水不溶鐵變化趨勢圖

國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

(A)



(B)



圖 6 . #2 凝結水除礦器出口銹垢之 SEM/EDAX 檢視圖

(A) 87.05.19 取樣 粒徑 5 ~ 3 μm $\times 2000$ (a 點)

(B) 87.05.19 取樣 粒徑 5 ~ 3 μm $\times 2000$ (b 點)



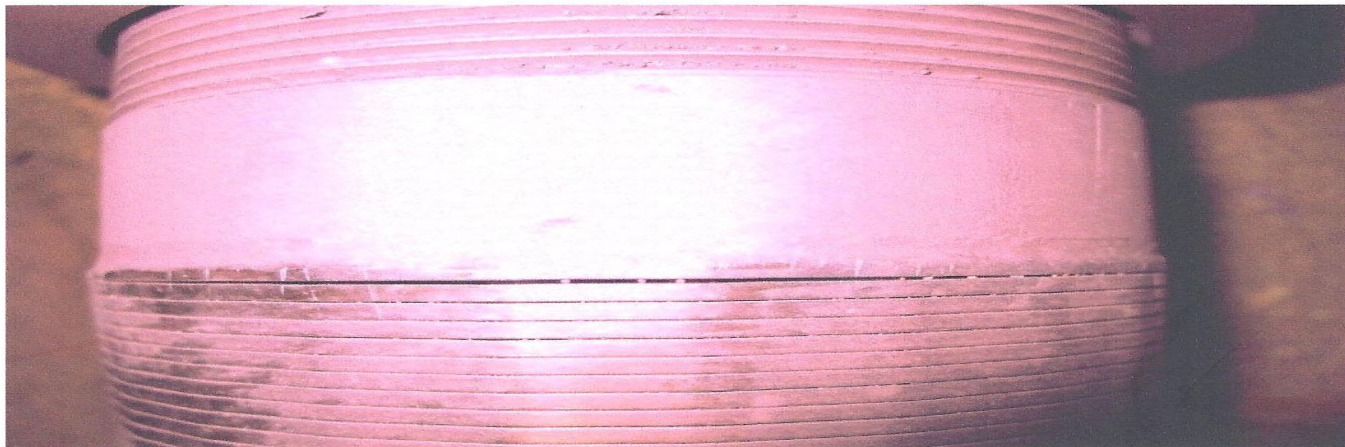
國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

3.2 爐水硫酸根離子偏高問題(89.04~90.03)

- a. 逆洗過程中充分篩選分離細樹脂。
- b. 減低樹脂內磺酸鹽有機物瀝出現象
- c. 新購樹脂增加可萃取物之檢驗。
- d. RWST、CST及DST等水質定期作紫外線照射後陰離子分析。
- e. 定期檢視樹脂桶槽內底架收集/配置系統及桶槽側襯裡。

國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

(A)



(B)

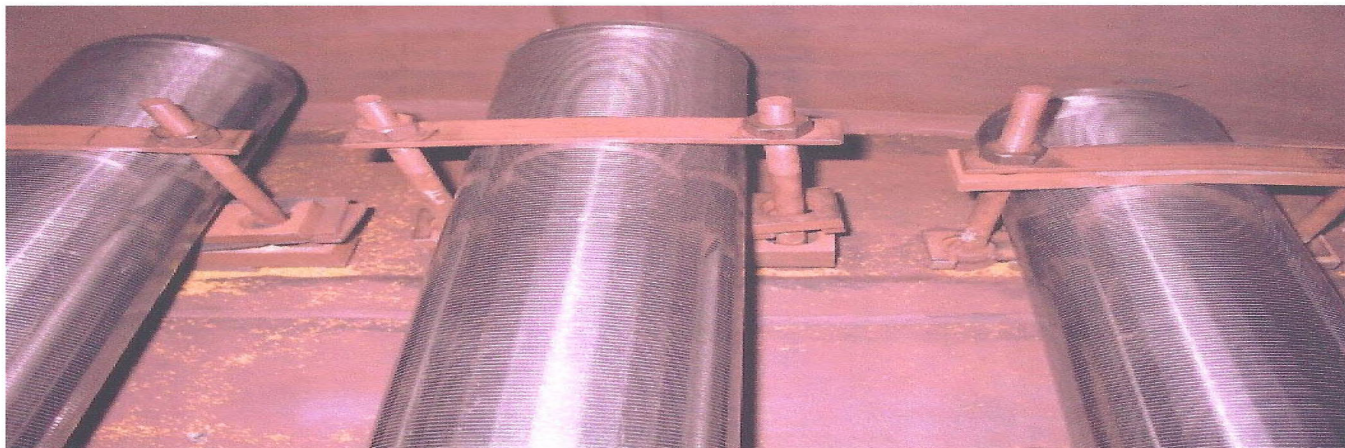


圖 7 . 凝結水除礦樹脂桶槽底部洩水管Johnson Screens圖
(A) 更換前微曲變形間隙增大 (B)更換後外觀



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

3.3 爐水氯離子 <1.0 ppb之改善要求(89.04~90.03)

- a. 冷凝水除礦樹脂定期更換或再生。
- b. 陰陽離子交換樹脂再生時分離完全避免交互污染。

3.4 控制棒裂痕與水質關係之分析(89.04~90.03)



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

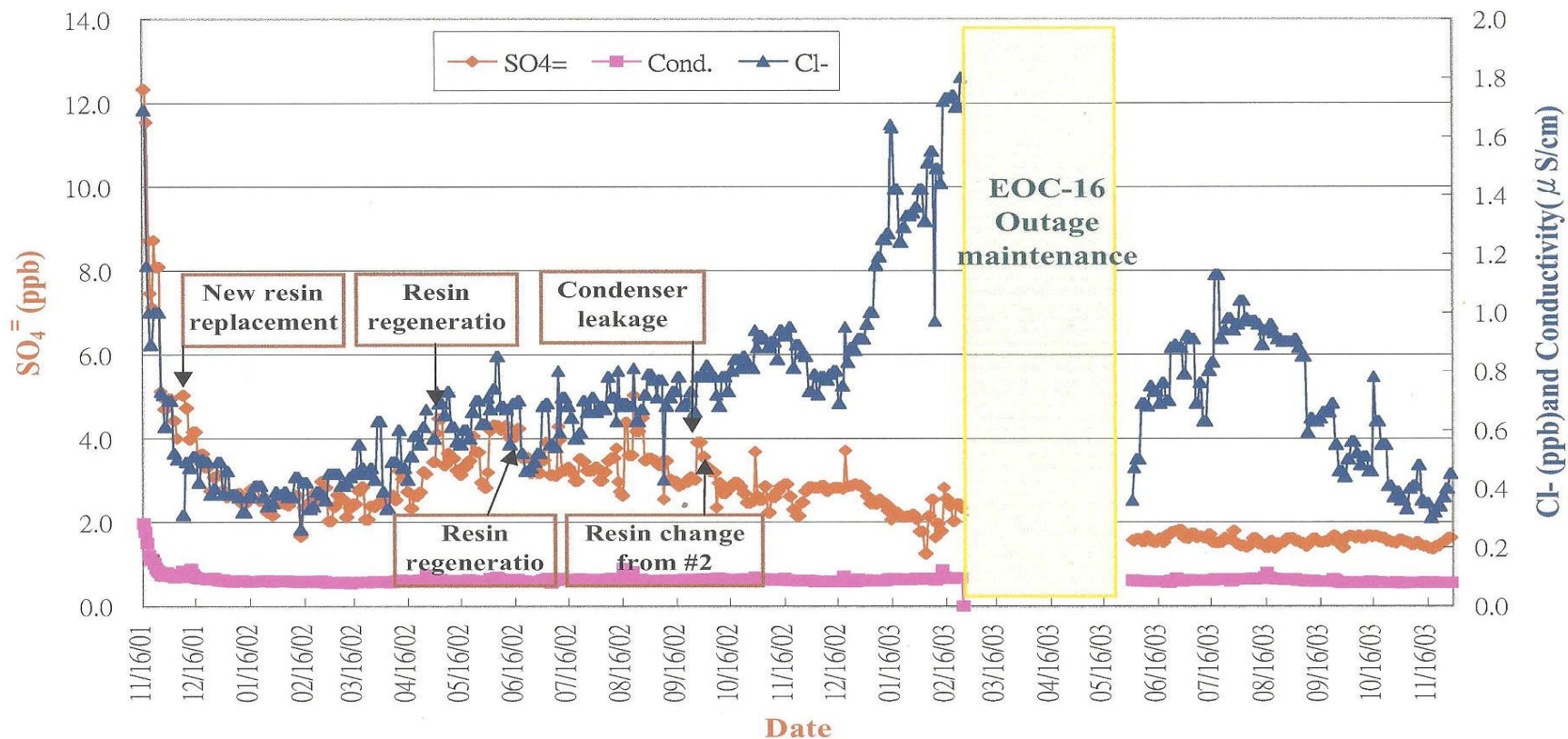


圖 8 . 核二廠#1第16及17燃料週期爐水改善結果



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

3.5 爐水水質劣化肇因與精進技術(95.09~97.09)

- (1) 飼水不溶鐵之改善。
- (2) 廢液取樣槽廢液照射監測技術。
- (3) 樹脂瀝出物TOC規範訂定。
- (4) 爐之砂土偏高現象。

國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

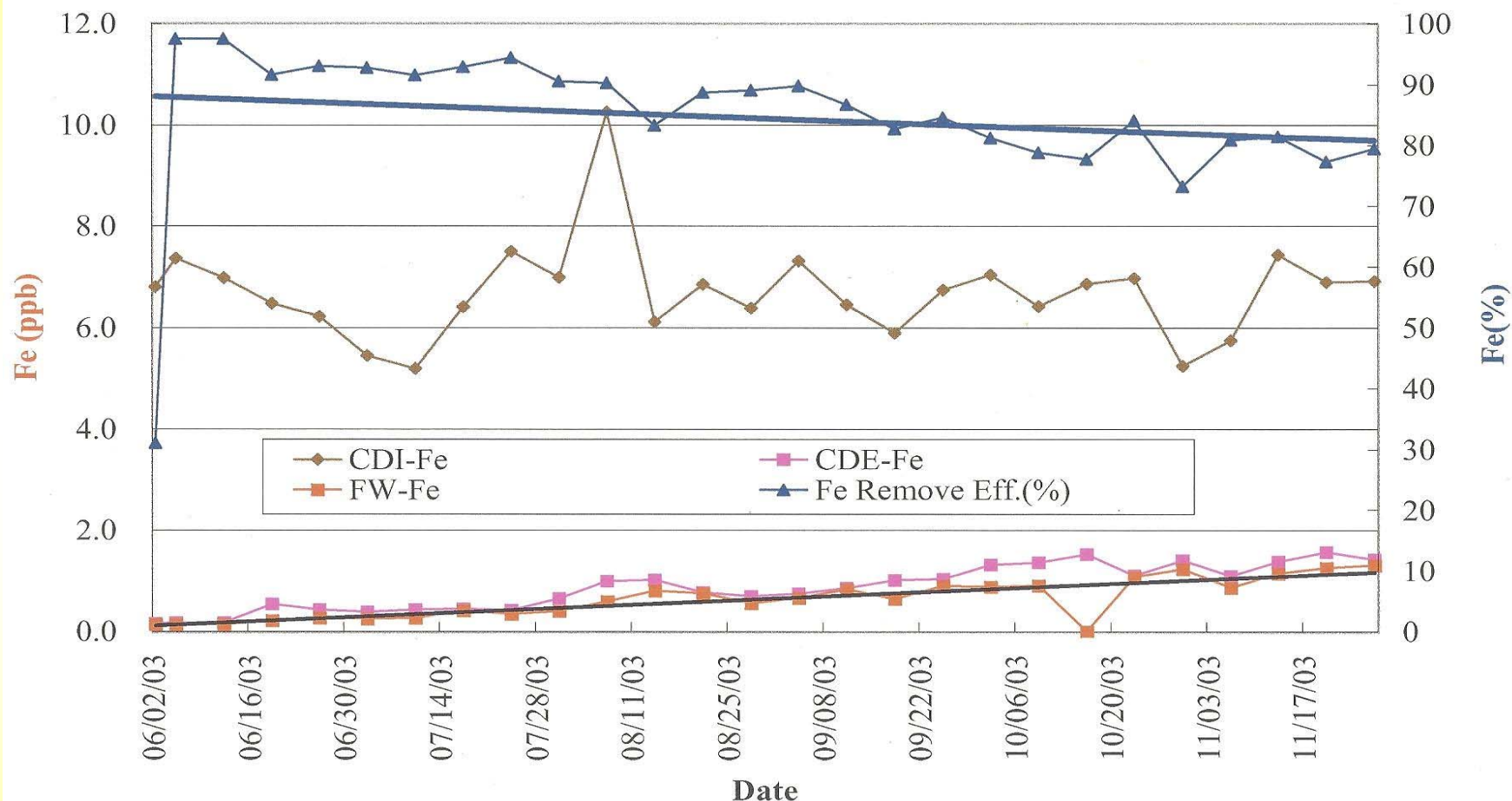


圖9. 核二廠一號機Fuel Cycle 17凝結水除礦系統不溶鐵移除效率與飼水不溶鐵關係

國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

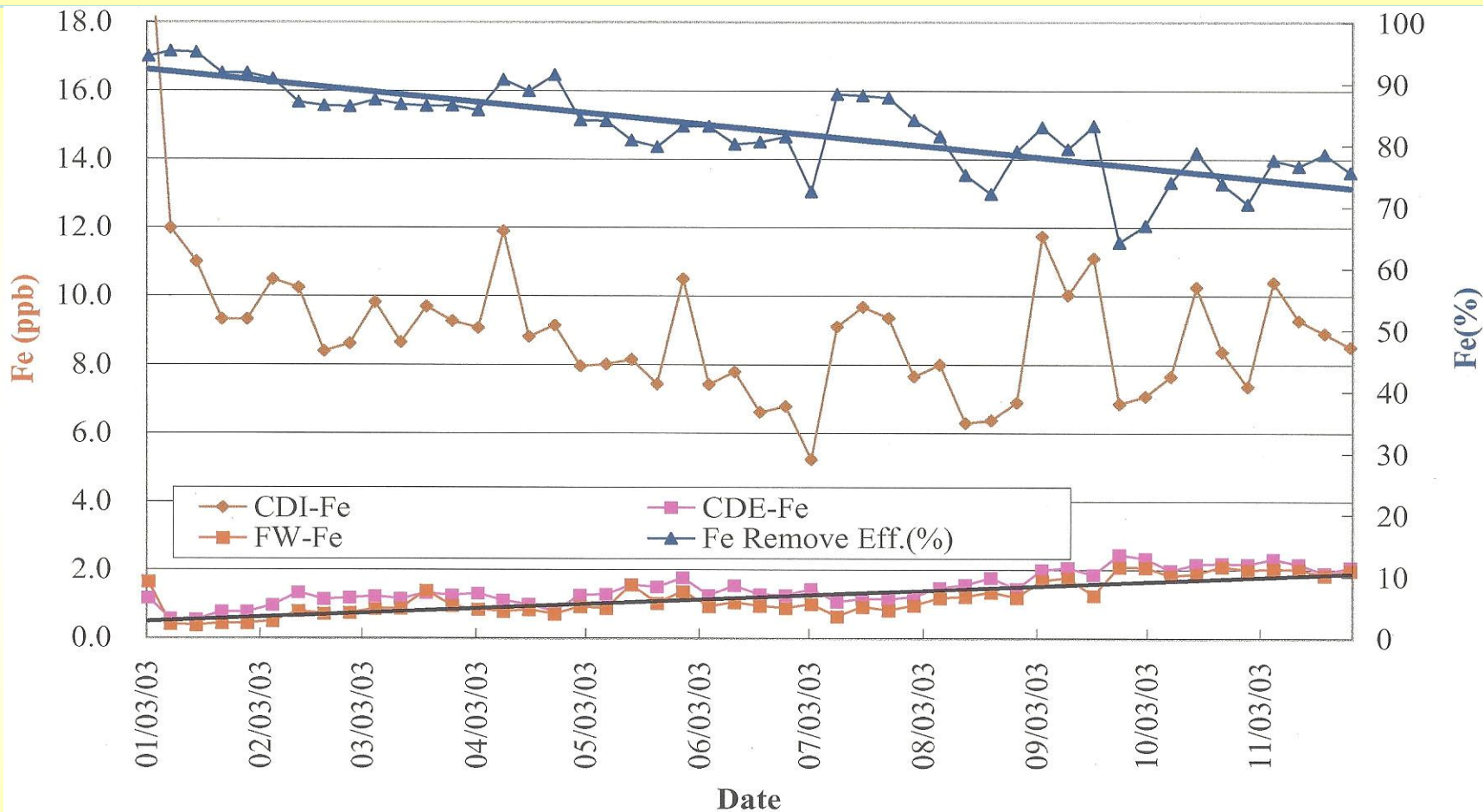


圖10. 核二廠二號機Fuel Cycle 16凝結水除礦系統不溶鐵移除效率與飼水不溶鐵關係



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

4. 水質改善成效

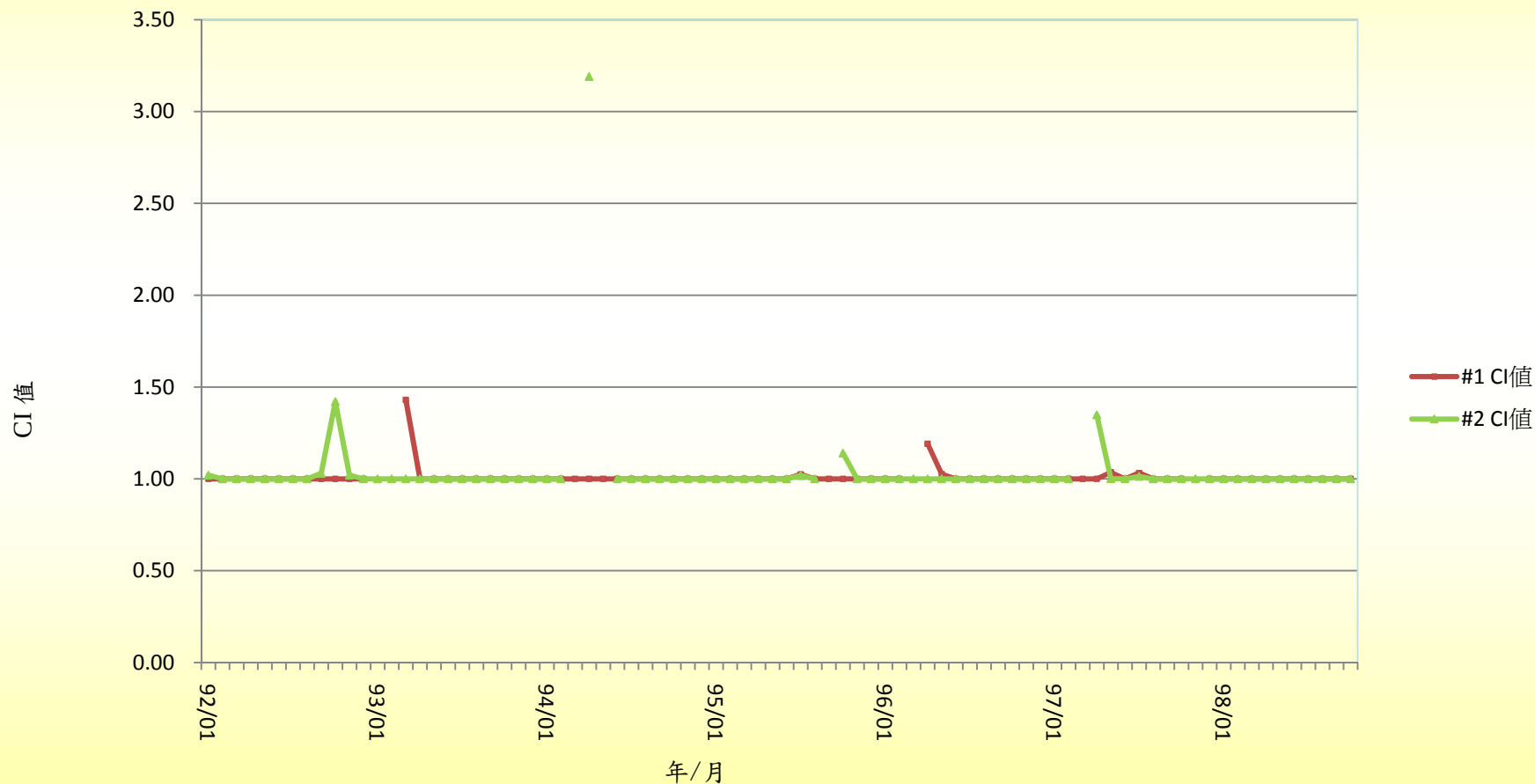
4.1 核一廠水質化學指標

4.2 核二廠水質化學指標



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

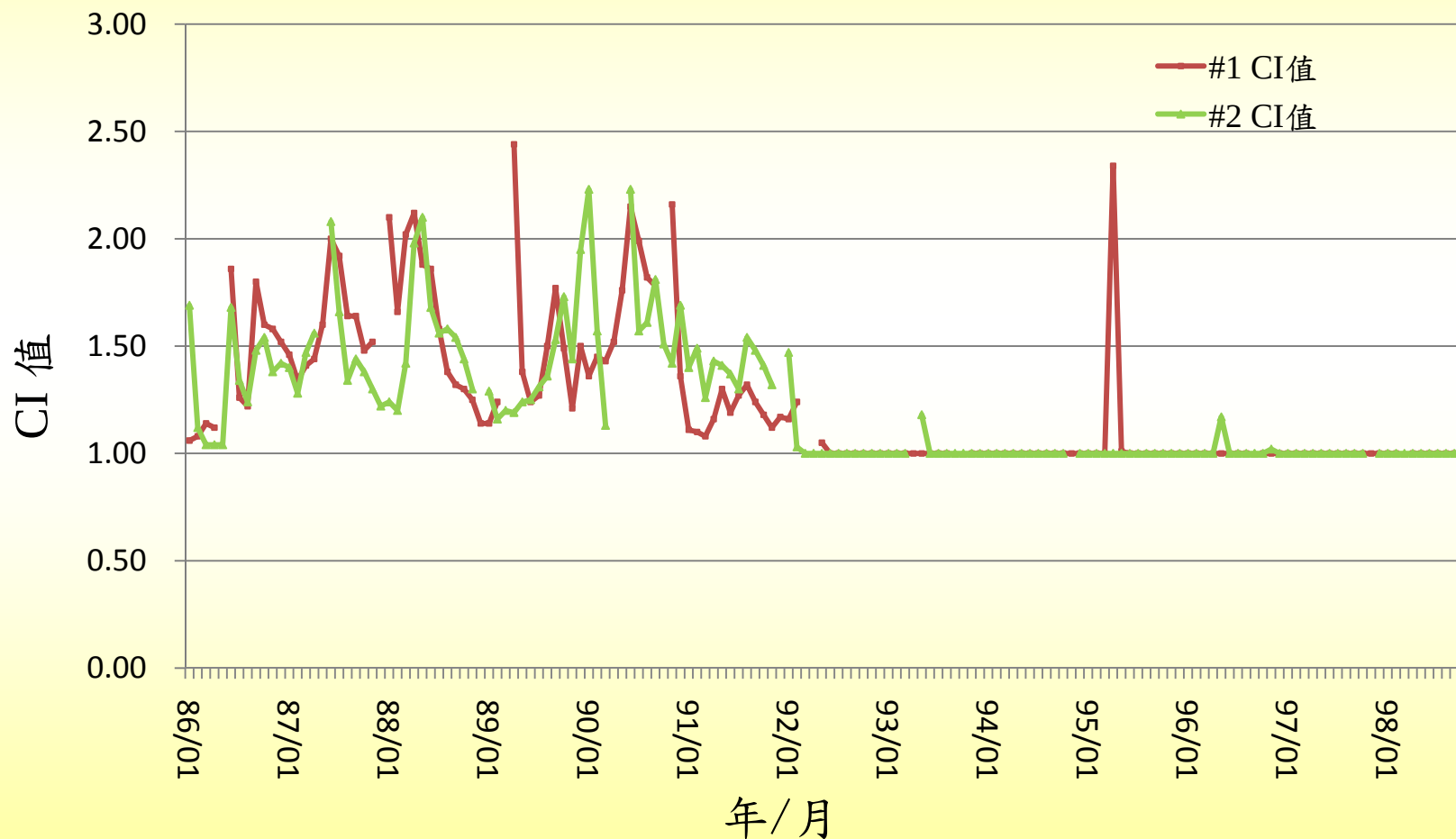
核一廠92-98年#1及#2化學指標值





國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

核二廠86-98年#1及#2化學指標值





國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

5. 目前水質面臨的問題及可能之管理趨勢

5.1 飼水不溶鐵逐漸上升之趨勢

5.2 廢液取樣槽總有機碳含量控制

5.3 注鋅水化學與管線輻射劑量率上昇現象

- a. 減少含鈷材質。
- b. 飼水鐵控制。
- c. 注鋅水化學。
- d. 化學除污。

5.4 爐水砂土偏高問題



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

6. 國際沸水式反應器水化學趨勢

6.1 加氫水化學

6.2 HWC與NobleChem™ LTNC及OLNC

6.3 注鋅水化學

6.4 停機水化學與起動水化學

國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

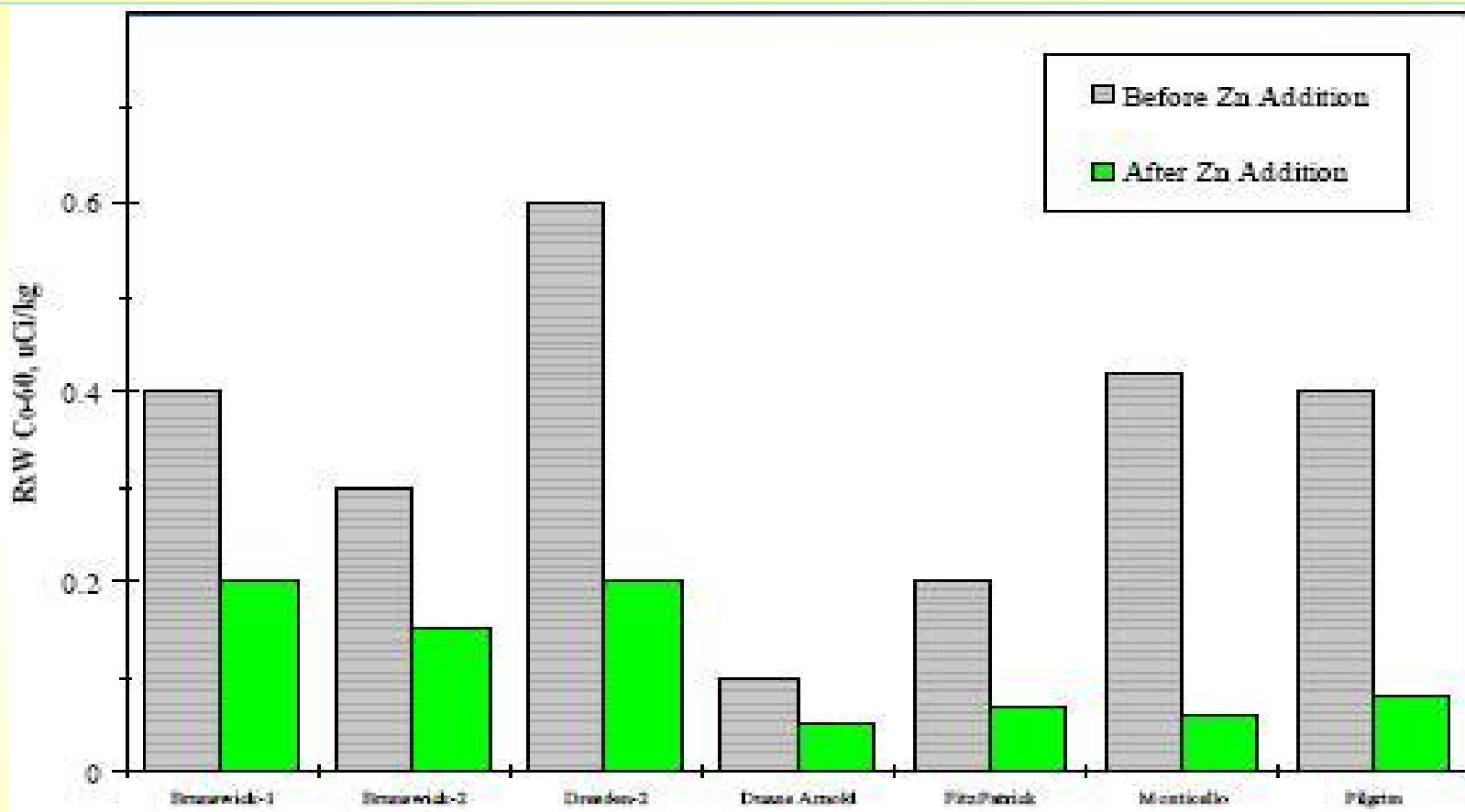
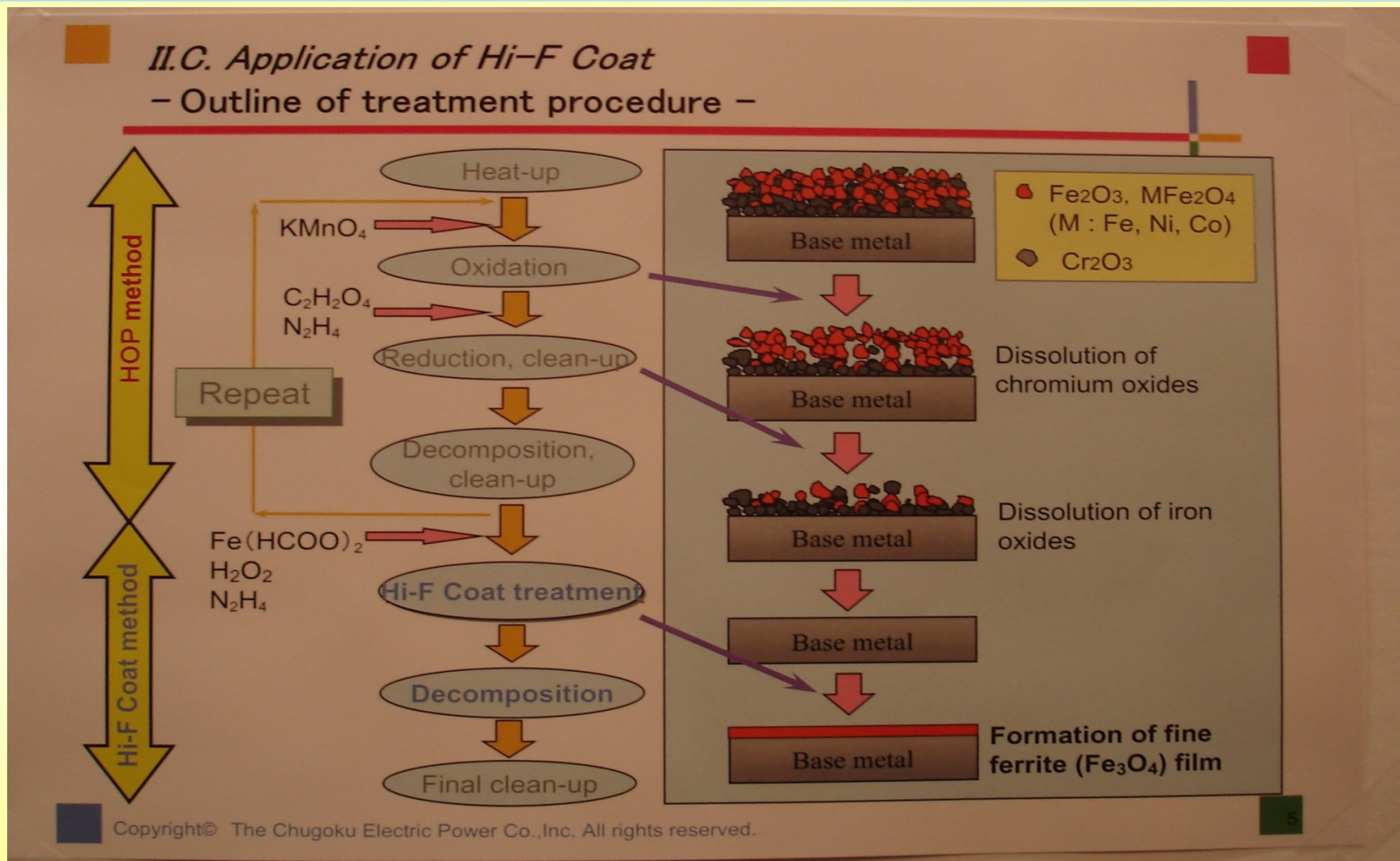


圖13. 美國電廠注鋅前後爐水Co-60活度差異比較



國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢





國內BWR核反應器水質改善及可能之管理趨勢

6.5 HWC環境之管路除污方法

表2. BWR電廠歷年飼水濃度建議值

Item	Feed water Iron Concentration (ppb)			
Condition	2004 Revision (All Plants)	2004 Revision (NWC)	2004 Revision (M-HWC and HWC/NMCA)	2008 Revision (M-HWC and HWC/NMCA)
Action Level 1	> 5	> 5	> 5	> 5
EPRI Desired Range(ppb)				
Lower Bound	≥ 0.5	≥ 0.5	≥ 0.1	≥ 0.1
<u>Upper Bound</u>	≤ 3	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 1.0
Lower Bound	Not included	N/A	≥ 0.1	≥ 0.1
<u>Upper Bound</u>	Not included	N/A	≤ 1.0	≤ 1.0