

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：實習)

蒸汽產生器二次測化學清洗及管束沖洗技術

服務機關：台灣電力公司
出國人職稱：核能工程師
姓名：李宏基
出國地區：德國 法國
出國期間：90.09.02 至 90.09.13
報告日期：90.11.21

93/
C09005124

U核三 90110619 號
901130

D核發 90110353 號

行政院及所屬各機關出國報告審核表

出國報告名稱：實習蒸汽產生器二次側化學清洗及管束沖洗技術	
出國計畫主辦機關名稱：台灣電力公司	
出國人姓名/職稱/服務單位：李宏基/核能工程師/核三廠	
出國計畫	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2. 格式完整 <input checked="" type="checkbox"/> 3. 內容充實完備 <input checked="" type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5. 送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7. 退回補正，原因：
主辦機關	<input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略
審核意見	<input type="checkbox"/> 未依行政院所屬各機關出國報告規格辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8. 其他處理意見：
層轉機關	<input type="checkbox"/> 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部份 _____ (填寫審核意見編號)
審核意見	<input type="checkbox"/> 退回補正，原因： _____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 其他處理意見：

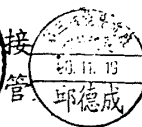
說明：

- 出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 審核作業應於出國報告提出後二個月內完成。

總經理
副總經理

Handwritten signature

單
主
管



報告人：李宏基



行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：實習蒸汽產生器二次側化學清洗及管束沖洗技術

頁數 含附件：有 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

李宏基/台灣電力公司/核三廠/核能工程師/(08)8893470

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他(開會)

出國期間：自 90 年 09 月 02 日至 09 月 13 日 出國地區：德、法

報告日期：90 年 10 月 09 日

分類號/目

關鍵詞：蒸汽產生器、化學清洗及管束沖洗

內容摘要：(二百至三百字)

1. 蒸汽產生器主要功能是使二次系統飼水吸收一次系統熱量，使其變成蒸汽後，送往汽機作功發電。若蒸汽產生器沒有好好維護，造成內部產生太多 Sludge，U 形管熱傳面會聚積污垢，使蒸汽產生器熱傳效果不佳、甚至造成 U 形管洩漏，而導致停機檢修。為改善此方面缺點，執行蒸汽產生器化學清洗是方法之一，但有其風險，經考量與本廠同樣使用 Model F 型蒸汽產生器之電廠只少數幾家執行化學清洗，且衡量本廠蒸汽產生器之狀況後評估本廠執行化學清洗時機還不是很迫切，可等待累積更成熟的經驗後再執行。但蒸汽產生器的維護不能停止，目前可以選擇風險不高的方法執行，如 Sludge Lancing、High Volume Bundle Flush 清洗等方法。各項技術資料已攜回，

並送相關單位參考。

2. Framatome 公司之蒸汽產生器製造技術極為先進，經由瞭解其各細部的製程及歷來改善的經過，再比對本廠目前的設備狀況後，可供本廠擬定更妥適的維護策略，對本廠極具參考價值。

目 錄

	頁數
一、 出國事由-----	2
二、 出國行程-----	2
三、 實習主要內容-----	3
(一)前言-----	3
1、 蒸汽產生器組件介紹-----	3-4
2、 更換蒸汽產生器(S/G)的電廠-----	5
(二)蒸汽產生器二次側化學清洗技術-----	6
1、 化學清洗方法及經驗-----	6-10
2、 Siemens 採用之高溫鐵離子化學清洗步驟-----	11-18
3、 結論及建議-----	19
(三)法國蒸汽產生器二次側管束沖洗技術-----	20
1、Framatome 公司之 Upper Bundle Flush 流程-----	20-22
2、 本廠 S/G 清洗之重要設備及流程-----	20-23
3、 結論及建議-----	23
(四) 訪問 Framatome 心得-----	24
1、Framatome 概況-----	24-29
2、學習心得-----	30

一、出國事由

- 1、蒸汽產生器是壓水式核電廠一次側系統之重要組件，若是缺乏適當維護，將造成該組件未達設計壽命即不堪使用，而使整個機組無法運轉發電，造成鉅大的損失。本廠蒸汽產生器在 EOC-11 大修檢查後發現二次側有部份管束積垢嚴重，對電廠運轉形成潛在的威脅。因此有必要派員前往實習蒸汽產生器二次側化學清洗及高流量管束沖洗技術與經驗，以確保機組之正常運轉與安全。

二、出國行程

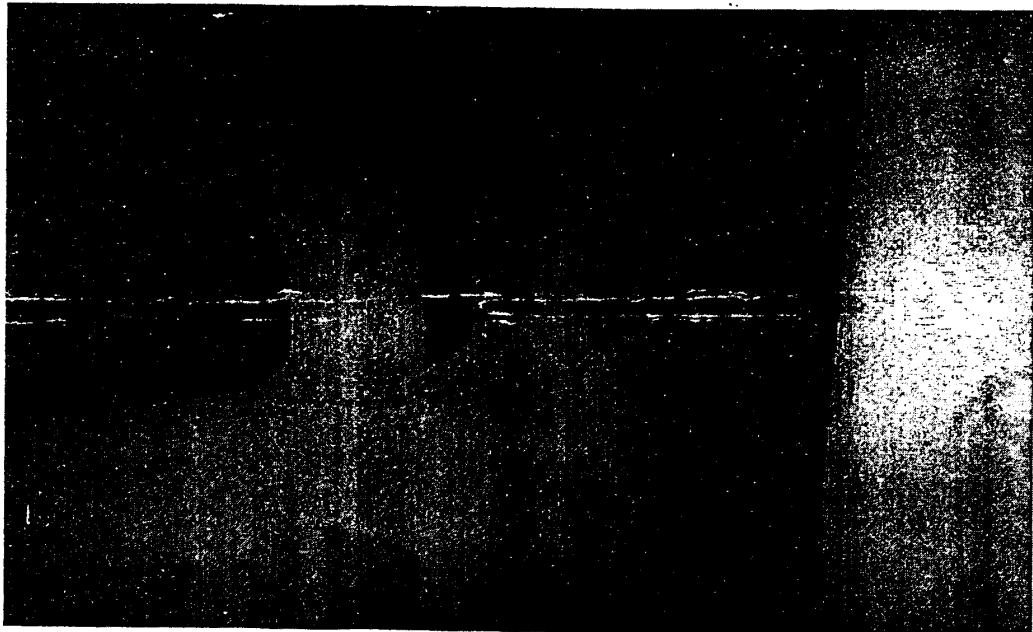
90年09月02日	往程(台北→埃蘭根)
09月04日~09月07日	於埃蘭根實習蒸汽產生器二次側化學清洗
09月08日~09月11日	於法國實習蒸汽產生器二次側管束沖洗
09月12日~09月13日	返程(巴黎→台北)

三、實習主要內容

(一) 前言：

1. 蒸汽產生器組件介紹：

- 1.1. 反應爐爐心流出的高溫高壓水，經進水室沿著 U 型管至出水室，反應器冷卻水泵再打回反應爐。
- 1.2. 飼水由頂部飼水環 J-Tube(圖一)飼入蒸汽產生器(圖二)，由潛降區流至 U 型管束底部，往上吸收一次系統熱量，成為汽水混合體，經汽水分離器、乾燥器等將水分排除，而得 99.75% 乾度的蒸汽，送往汽機做功發電。
- 1.3. U 型管束底部有一沖放管將蒸汽產生器內一部份水量不斷排出，此因飼水雖然純淨，但會帶一些雜質，當飼水化為蒸汽後，這些雜質卻留下來，不斷的聚積，使得蒸汽產生器內部水質變壞，熱交換效率降低，甚至造成腐蝕，增加 U 型管束洩漏的機會，減少蒸汽產生器的壽命。



圖(一) 蒸汽產生器 J-Tube

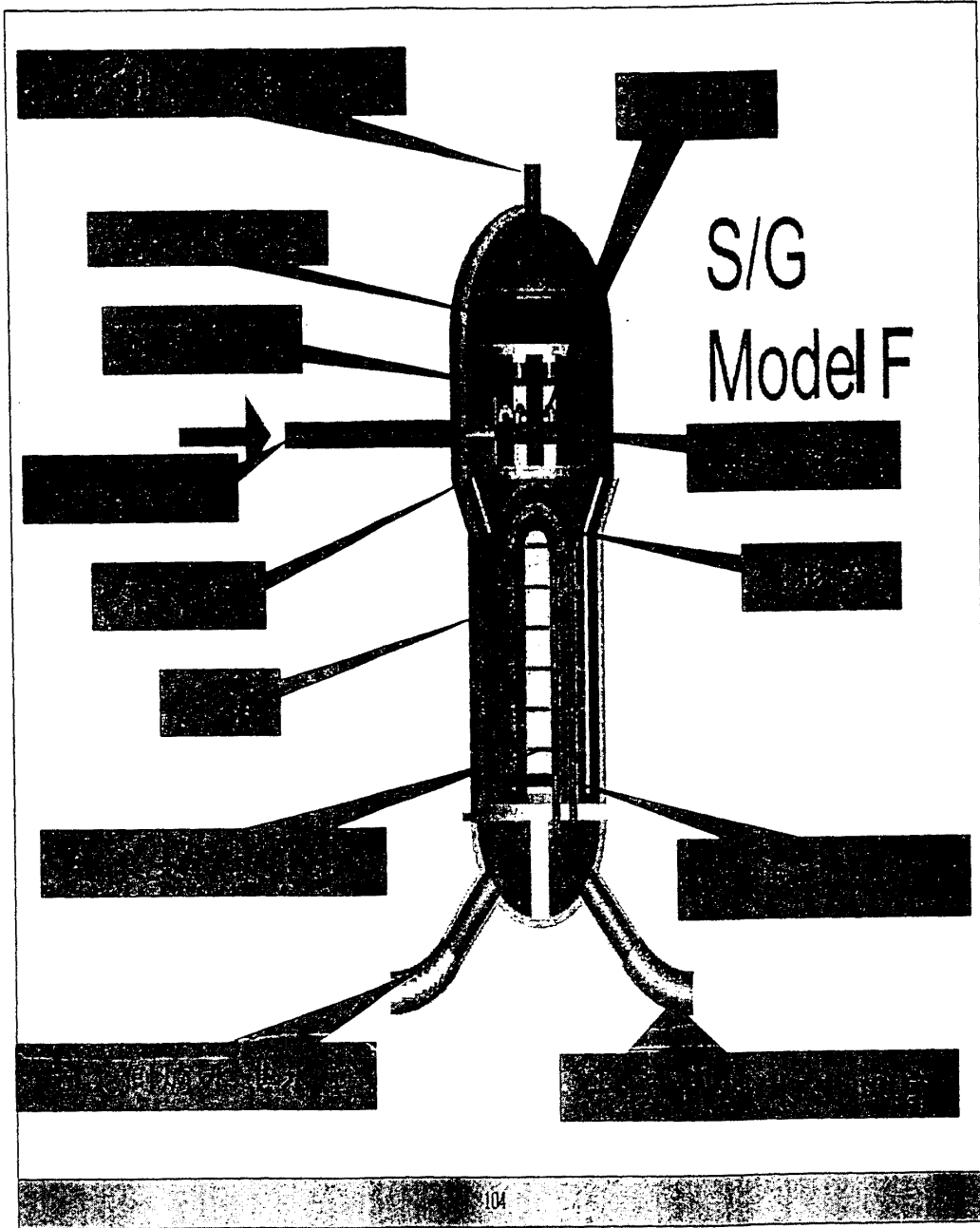


圖 (二) 蒸汽產生器之零件圖示

2. 更換蒸汽產生器(S/G)的電廠

至 1996 年為止，世界上已更換 37 部機組 105 台 S/G，1997 年至 2000 年間又更換 17 部機組 52 台 S/G，這些 S/G 更換前的運轉時間大約 7~25 年，塞管比例 4.1%~28.8%，因為發電效率不佳、或因破管頻繁。蒸汽產生器是本廠一次側重要組件，若是缺乏適當維護，將造成該組件未達設計壽命即不堪使用，而使整個機組無法運轉發電，造成鉅大的損失，因此只有好好維護，才能避免更換蒸汽產生器。目前蒸汽產生器更換方法有 lower shell、channel head cut、entire SG 三種(如表一)。

Plant	No. SG	Replacement Method	Repl. Model	Tube Material	Commercial Operation	Completion Date	Oper. (Years)	BFPP Oper.	Repl. Duration (days)	Repl. Exposure (man-rem)	Repl. Cost (millions)
SURRY 2	3	Pipe Cut (Lower Shell)	W-31P	1-600 TT	May-1973	Sep-1980	7	3.6	260	2141	\$94
SURRY 1	3	Pipe Cut (Lower Shell)	W-31P	1-600 TT	Dec-1972	Jul-1981	8	4.4	200	1759	\$94
TURKEY POINT 3	3	Channel Head Cut	W-44P	1-600 TT	Dec-1972	Apr-1982	10	5.2	217	2152	\$90
TURKEY POINT 4	3	Channel Head Cut	W-44P	1-600 TT	Sep-1973	May-1983	9	5.9	190	1205	\$90
ORRHEIM 2	2	Pipe Cut (Entire SG)	KWU	1-600 TT	Dec-1968	Sep-1983	14	11.2	77	690	\$177
POINT BEACH 1	2	Pipe Cut (Entire SG)	W-44P	1-600 TT	Dec-1970	Mar-1984	13	9.2	118	1575	\$97
ROBINSON	3	Channel Head cut	W-44P	1-600 TT	Mar-1971	Oct-1984	13	8.3	190	11207	\$85
COOK 2	4	Pipe Cut (Entire SG)	W-31P	1-600 TT	Jul-1978	Mar-1989	11	6.6	175	561	\$115
INDIAN POINT 3	4	Pipe Cut (Entire SG)	W-44P	1-600 TT	Aug-1976	Jun-1989	13	6.4	140	541	\$120
RINGHALS 2	3	Pipe Cut (Entire SG)	KWU	1-600 TT	May-1975	Aug-1989	14	8.1	72	290	\$130
DAMPPIERRE 1	3	Pipe Cut (Entire SG)	FRAM-51B	1-600 TT	Sep-1980	Jul-1990	10	6.7	79	220	\$104
PHILADELPHIA	2	Pipe Cut (Entire SG)	CE-70	1-600 HTMA	Dec-1971	Mar-1991	19	8.3	121	447	\$100
MILLSTONE 2	2	Pipe Cut (Entire SG)	BWL	1-600 TT	Dec-1975	Jun-1993	17	10.9	192	697	\$190
NORTH ANNA 1	3	Pipe Cut (Lower Shell)	W-44P	1-600 TT	Jan-1976	Apr-1993	17	9.6	95	240	\$125
BRUNNEN 1	3	Pipe Cut (Entire SG)	KWU	1-600 TT	Oct-1982	Jun-1993	11	10	44	196	\$97
BEZNAU 1	2	Pipe Cut (Entire SG)	ERAM-33/19	1-600 TT	Dec-1969	Jul-1993	24	19.3	46	110	\$50
BUZBEY 1	3	Pipe Cut (Entire SG)	FRAM-51B	1-600 TT	Jan-1980	Feb-1994	13	9.8	75	150	\$91
GRAVELINES 1	3	Pipe Cut (Entire SG)	FRAM-47/22	1-600 TT	Nov-1980	Mar-1994	14	9.4	38	143	\$106
TAKAHAMA 2	3	Pipe Cut (Entire SG)	MHI-52F	1-600 TT	Nov-1975	Jul-1994	19	10.6	101	149	\$230
MIHAMA 2	2	Pipe Cut (Entire SG)	MHI-46F	1-600 TT	Jul-1972	Aug-1994	18	11.3	366	146	\$140
GENKAI 1	2	Pipe Cut (Entire SG)	MHI-52F	1-600 TT	Oct-1975	Oct-1994	19	12.8	90	60	\$200
SUMMER	3	Pipe Cut (Entire SG)	W-D75	1-600 TT	Jan-1984	Dec-1994	11	8.3	99	244	\$105
OHII 1	4	Pipe Cut (Entire SG)	MHI-52FA	1-600 TT	Mar-1979	May-1995	16	8.8	146	293	\$290
TIHANGE 1	2	Pipe Cut (Entire SG)	MHI	1-600 TT	Sep-1975	Jun-1995	20	16	93	164	\$123
NORTH ANNA 2	3	Pipe Cut (Lower Shell)	W-54P	1-600 TT	Dec-1980	Jun-1995	15	11.2	68	142	\$114
RINGHALS 3	3	Pipe Cut (Entire SG)	KWU	1-600 TT	Apr-1981	Aug-1995	14	9.7	69	133	\$136

表(一) 蒸汽產生器更換方法

(二)、蒸汽產生器二次側化學清洗技術

1. 化學清洗方法及經驗

化學清洗是添加化學藥劑於蒸汽產生器內將積垢在 U 形管表面、U 形管與管板(Tubesheet)交界、及四葉形縫隙(crevices)地區的 Sludge 溶解，這種方法是蒸汽產生器清洗方法之一，對蒸汽產生器而言是唯一的一種全面式清洗，但有其危險性。目前世界上共有 EPRI/SGOG(美國 西屋)、Edf(法國電力公司)、KEPCO(韓國電力公司)、KWU(德國 Siemens)等 4 種化學清洗方法。

至 07/31/2000 止，世界上共有 77units 圖(三)執行 S/G 化學清洗，其中 EPRI 31 units 表(二、三)、Edf 4 units、KEPCO 2 units、KWU 40 units 表(四、五)

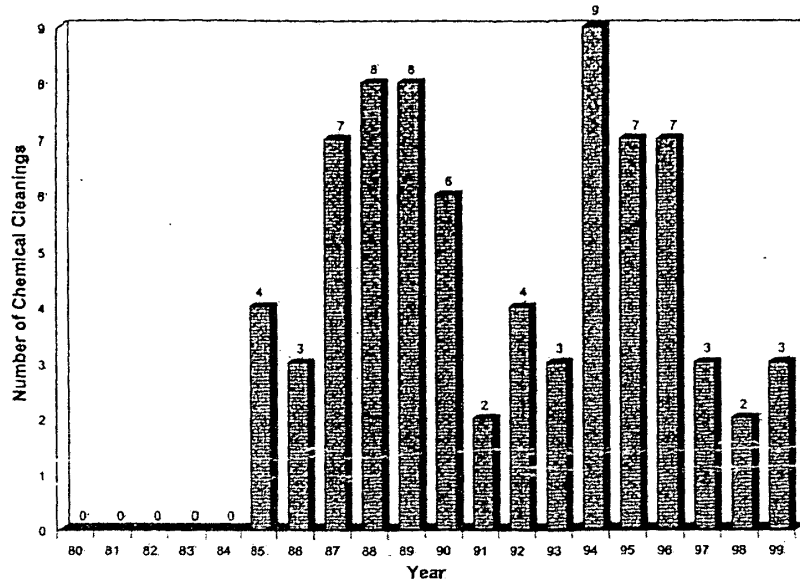


Figure 9-1
World Wide Number of Chemical Cleanings

9-2

圖(三)：世界上曾經執行化學清洗的電廠計有 77 units

Table 9-1
EPRI SGOG Chemical Cleaning

UNIT	SG Type	Year	Vendor	Application	Process	Removed Lbs
MILLSTONE 2	ORIG	85	PNS/CE	Tubesheet	Mod. SGOG Fe+Cu	567
MAINE YANKEE	ORIG	87	PNS/CE	Tubesheet	Mod. SGOG Fe+Cu	2381
OCONEE 1	ORIG	87	DP/BWNT	Partial Height	Mod. SGOG Fe	6648
OCONEE 2	ORIG	88	DP/BWNT	Partial Height	Mod. SGOG Fe	8909
ANO 1	ORIG	90	PNS/CE	Part. Height-9th TSP	Mod. SGOG Fe+Cu	10040
KORI 1	ORIG	90	PNS/ABBR/CE	Tubesheet	Mod. SGOG Fe+Cu	876
TMI 1	ORIG	91	BWNT	Part. Height-9th TSP	Mod. SGOG Fe	6540
DOEL 4	ORIG	92	PNS/ABBR/CE	Full Height	Mod. SGOG Crevice Fe	6574
PICKERING B5	ORIG	92	BWNT	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu	9134
BRUCE A4	ORIG	93	PNS/BWNT	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu	13759
PICKERING B6	ORIG	93	BWNT	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu	7539
BRUCE A3	ORIG	94	VECTRA/BWNT	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu	14784
PALO VERDE 2	ORIG	94	BWNT	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu+Crv	10702
PALO VERDE 3	ORIG	94	BWNT	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu+Crv	9729
PICKERING A1	ORIG	94	BWNT	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu+Crv	14892
SURRY 2	REPL	94	W/VECTRA	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu (PP)	14570

Vendors:

ABRR: Asea Brown Boveri Reaktor
 BW: Babcock-Wilcox -now- B-W Nuclear Technologies
 BWNT: B-W Nuclear Technologies
 CE: Combustion Engineering
 DP: Duke Power
 PNS: Pacific Nuclear Services -now- Vectra
 W: Westinghouse

Comment:

"Removed Lbs" does not include amount removed by sludge lancing.

Process:

Crv. Crevice Step

表 (二): EPRI SGOG 曾經執行過化學清洗的 31 units

Steam Generator Chemical Cleaning

Table 9-1 (continued)
EPRI SGOG Chemical Cleaning

UNIT	SG Type	Year	Vendor	Application	Process	Removed Lbs
BYRON 1	ORIG	94	BWNT	Full Height	Mod. SGOG Fe (HT)	15382
SURRY 1	REPL	94	W/VECTRA	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu (PP)	15670
BRUCE A1	ORIG	95	PNS	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu+Crv	18293
CALLAWAY	ORIG	95	W	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu (PP)	17620
PICKERING A2	ORIG	95	BWNT	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu+Crv	15946
SEQUOYAH 1	ORIG	95	W	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu (PP)	17932
PALO VERDE 1	ORIG	95	BWNT	Full Height	Mod. SGOG Fe (HT)	11575
BRUCE A3	ORIG	96	PNS	Full Height	Mod. SGOG Cu+Crv	5535
SEQUOYAH 2	ORIG	96	W	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu (PP)	15283
WOLF CREEK	ORIG	96	PNS	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu (HT)	8575
COMANCHE PEAK 1	ORIG	96	PNS/W	Full Height	Mod. SGOG Fe (HT)+CU	4362
SAN ONOFRE 2	ORIG	97	FTI	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu	32535
SAN ONOFRE 3	ORIG	97	FTI	Full Height	Mod. SGOG Fe+Cu	40027
SALEM 2	ORIG	99	FTI	Partial Height	Mod SGOG Crevice Fe	15000
DAVIS BESSE	ORIG	00	FTI	Full Height	Mod. SGOG	5995

Vendors:

ABBR: Asea Brown Boveri Reaktor
 BW: Babcock-Wilcox -now- B-W Nuclear Technologies
 BWNT: B-W Nuclear Technologies
 CE: Combustion Engineering
 DP: Duke Power
 PNS: Pacific Nuclear Services -now- Vectra
 W: Westinghouse

Process:

Crv. Crevice Step

Comment:

"Removed Lbs" does not include amount removed by sludge lancing.

表(三): EPRI SGOG 曾經執行過化學清洗的 31 units, 其中 CALLAWAY、WOLF CREEK 與本廠 Model 相同

Table 9-2
KWU, EDF and KEPCO Chemical Cleanings

UNIT	SG Type	Year	Vendor	Application	Process	Removed Lbs
BIBLIS B	ORIG	85	KWU	Full Height	KWU Cu	1.3
NECKARWESTHEIM 1	ORIG	85	KWU	Full Height	KWU Cu	6.2
STADE	ORIG	85	KWU	Full Height	KWU Cu	24.2
ALMARAZ 1	ORIG	86	KWU	Full Height	KWU Fe(NTA)	920
ALMARAZ 1	ORIG	86	KWU	Full Height	KWU Fe(NTA)+Cu	7456
STADE	ORIG	86	KWU	Full Height	KWU Cu	67.3
ALMARAZ 2	ORIG	87	KWU	Full Height	KWU Fe(NTA)+Cu	6682
ASCO 1	ORIG	87	KWU	Full Height	KWU Cu	3419
ASCO 2	ORIG	87	KWU	Full Height	KWU Cu	2048
GRAFENRHEINFELD	ORIG	87	KWU	Full Height	KWU Cu	1.5
STADE	ORIG	87	KWU	Full Height	KWU Fe(NTA)	3586
ALMARAZ 1	ORIG	88	KWU	Various Heights	KWU Fe(NTA)	4437
ALMARAZ 1	ORIG	88	KWU	Full Height	KWU Cu	215
ALMARAZ 2	ORIG	88	KWU	Full Height	KWU Fe(NTA)+Cu	5028
ASCO 1	ORIG	88	KWU	Full Height	KWU Cu	856
RINGHALS 3	ORIG	88	KWU	Tubesheet	KWU Fe(NTA)	2495
RINGHALS 4	ORIG	88	KWU	Tubesheet	KWU Fe(NTA)	2102
TIHANGE 1	ORIG	88	EDF	Full Height	EDF Fe + Cu	9910
ALMARAZ 1	ORIG	89	KWU	Full Height	KWU Fe(NTA)+Cu	4263
ALMARAZ 2	ORIG	89	KWU	Full Height	KWU Fe(NTA)+Cu	4165
ASCO 1	ORIG	89	KWU	Full Height	KWU Cu	636
ASCO 2	ORIG	89	KWU	Full Height	KWU Cu	695
RINGHALS 3	ORIG	89	KWU	Full Height	KWU Fe(NTA)	5315
RINGHALS 4	ORIG	89	KWU	Full Height	KWU Fe(NTA)	5861

Vendors:
 EdF Electricite de France
 KWU Kraftwerk Union
 MHI Mitsubishi Heavy Industry

Comment:
 "Removed Lbs" does not include amount removed by sludge lancing.

表(四): KWU、EDF、KEPCO 曾經執行過化學清洗的 40 units、4 units、2 units 其中 ALMARAZ 執行很多次化學清洗

Steam Generator Chemical Cleaning

Table 9-2 (continued)
KWU, EDF and KEPCO Chemical Cleanings

UNIT	SG Type	Year	Vendor	Application	Process	Removed Lbs
TIHANGE 2	ORIG	89	KWU	Full Height	KWU Fe(NTA)+Cu	4079
NOGENT/SEINE 1	ORIG	89	EDF	Full Height	EDF Fe + Cu	31204
ALMARAZ 1	ORIG	90	KWU	Full Height	KWU Fe(NTA)+Cu	5486
MIHAMA 1	ORIG	90	KWU	Tubesheet	KWU Fe(NTA)+Cu	962
OHI 1	ORIG	90	KWU	Part. Height-1st TSP	KWU Fe(NTA)+Cu	1643
SAINT-ALBAN 2	ORIG	90	EDF	Partial Height	EDF Fe + Cu	2628
PAKS 1	ORIG	91	KWU	Full Bundle (Horiz.)	KWU Fe(EDTA)	19186
PAKS 2	ORIG	92	KWU	Full Bundle (Horiz.)	KWU Fe(EDTA)	10572
FESSENHEIM 2	ORIG	92	EDF	Full Height	EDF Fe + Cu	47832
DOEL 4	ORIG	93	KWU	Full Height	KWU Fe(EDTA)+Cu+Pb	542
PAKS 3	ORIG	94	KWU	Full Bundle (Horiz.)	KWU Fe(EDTA)	14793
INTERWESER	ORIG	94	KWU	Various Heights	KWU Fe(EDTA)	12100
PAKS 4	ORIG	95	KWU	Full Bundle (Horiz.)	KWU Fe(EDTA)	16243
SAINT LEPREAU	ORIG	95	KWU	Full Height	KWU Fe(EDTA)	2446
ATUCHA 1	ORIG	96	KWU	Full Height	KWU Fe(EDTA)+Cu	6327
STADE	ORIG	96	KWU	Full Height	KWU Fe(EDTA)+Cu	11883
YONGGWANG 1	ORIG	96	KEPCO	Tubesheet	H3BO3, TiO2	
YONGGWANG 2	ORIG	97	KEPCO	Tubesheet	H3BO3, TiO2	
GROHNDE	ORIG	98	KWU	Full Height	KWU Fe(EDTA)	7597
PAKS 2	ORIG	98	KWU	Full Bundle (Horiz.)	KWU Fe(EDTA)	9121
BROKDORF	ORIG	99	KWU	Full Height	KWU Fe(EDTA)	11605
PAKS 3	ORIG	99	KWU	Full Height	KWU Fe(EDTA)	13976

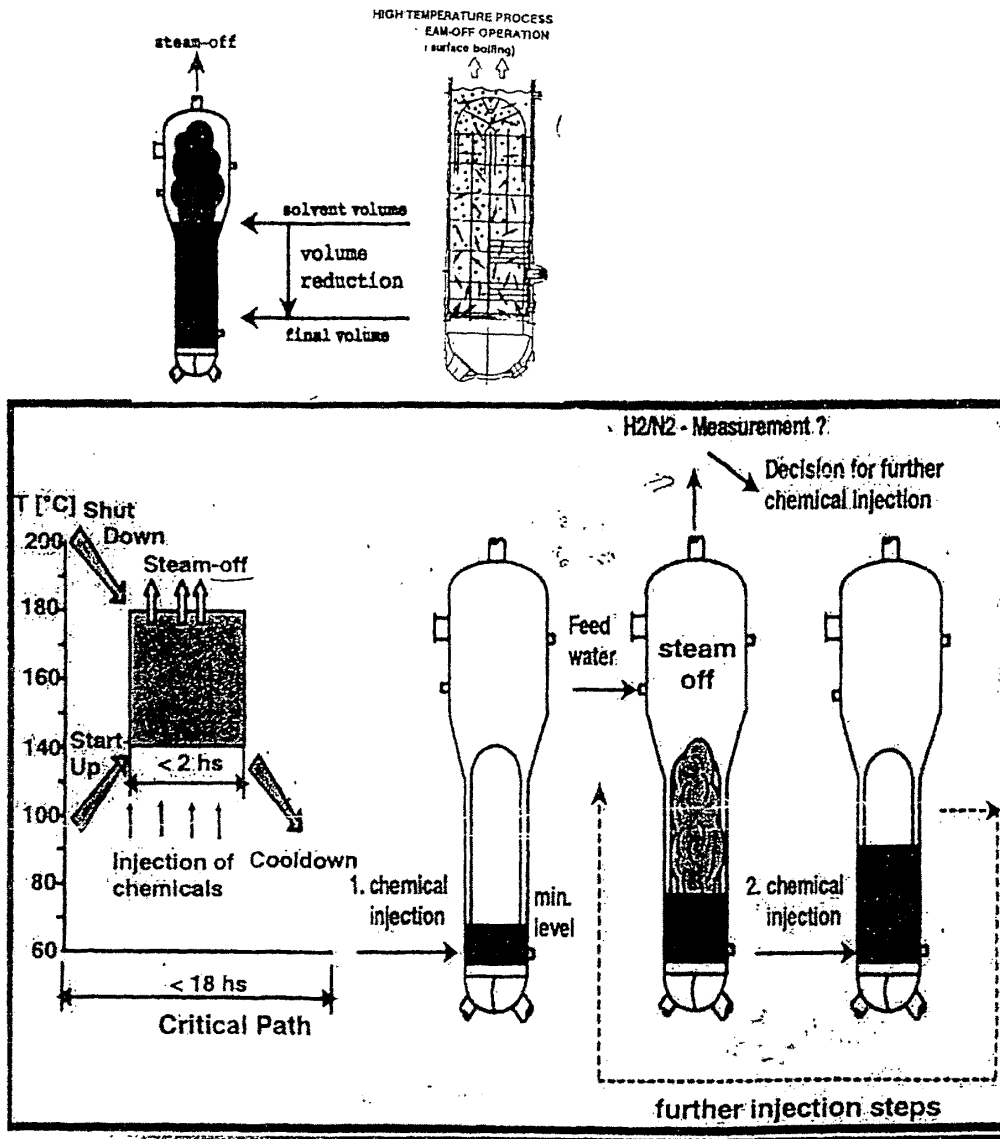
Vendors:
EdF Electricite de France
KWU Kraftwerk Union
MHI Mitsubishi Heavy Industry

Comment:
"Removed Lbs!" does not include amount removed by sludge lancing.

表(五):KWU、EDF、KEPCO 曾經執行過化學清洗的 units，其中 YONGGWANG(韓國電力公司)與本廠 Model 型式相同，是韓電自開發清洗

2. Siemens採用之高溫鐵離子化學清洗步驟：

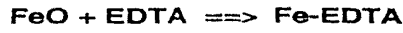
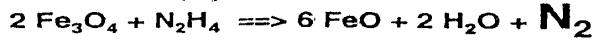
- 2.1. 機組 shut down 至 180°C 時，注入化學達 min level，後注入 Feed water 至 level 於 U 形管上，關閉蒸汽產生器上面出口閥，藉 U 形管表面熱傳，加熱化學與飼水混合體，使攪拌均勻，打開蒸汽產生器上面出口閥，量取 N_2/H_2 數量，決定須注入化學的量，重複這些步驟，直到化學清洗完成



2.2. 過程監視(Process Monitoring), 採用 H₂/N₂ 測量技術

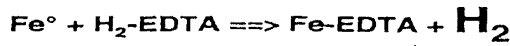
Process Monitoring
Basis for H₂/N₂ Measurement Technique

Sludge dissolution:



N₂ generation decreases as sludge dissolution proceeds

Carbon steel corrosion:

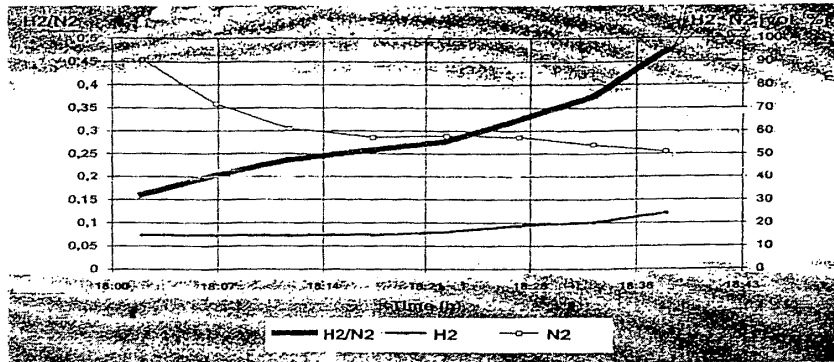


The more carbon steel surfaces will be cleaned, the more H₂ will be generated.

ERAMATOME ANP

說明: N₂ 產生表示 sludge 溶解、H₂ 產生表示 carbon steel 溶解。

Process Monitoring
Field Data for H₂ and N₂ Generation



ERAMATOME ANP

說明: 斜率升高表示 H₂ 在產生、carbon steel 溶解, 須馬上停止化學清洗。

2.3. Siemens 化學清洗方法之特點：

(1) 清洗時間短

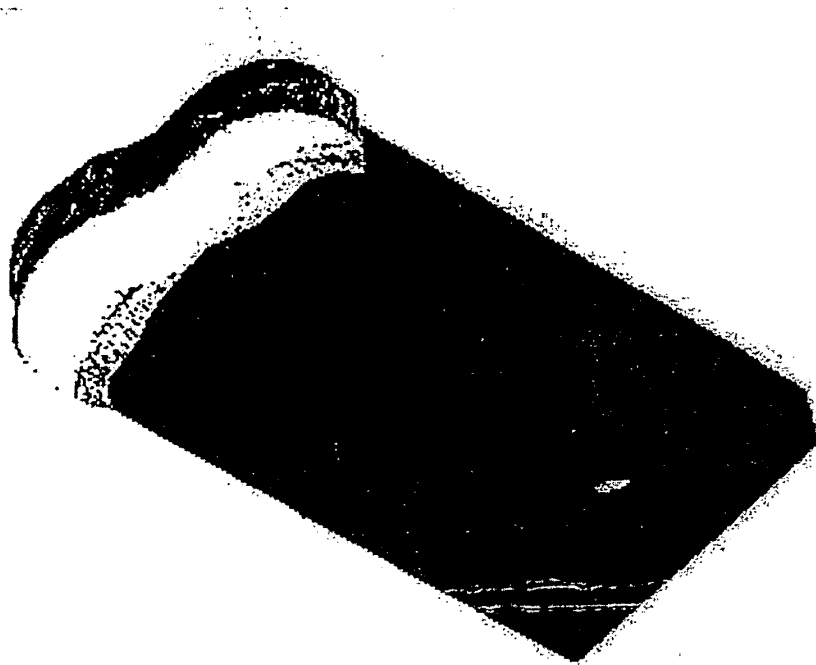
-- 每台蒸汽產生器清洗時間小於 12 hours，本廠縫隙(crevices)地區為四葉形，較容易清洗，三台清洗只須 18 hours

(2) 利用一次側熱源

-- 除不必外接加熱器之外，因能產生管面熱流，增加氧化鐵在管面溶解，特別是縫隙(crevices)地區而增加清洗效率

(3) 減少 CS 腐蝕

-- CS 表面被惰性層(passive layers)覆蓋



說明：黑色表示被惰性層(passive layers)覆蓋部份

CS 在 Doel 4、Point Lepreau 的平均腐蝕資料為 17 μm 、20-25 μm

Material Compatibility

High Temperature Iron
Solvent Corrosion
Field Data

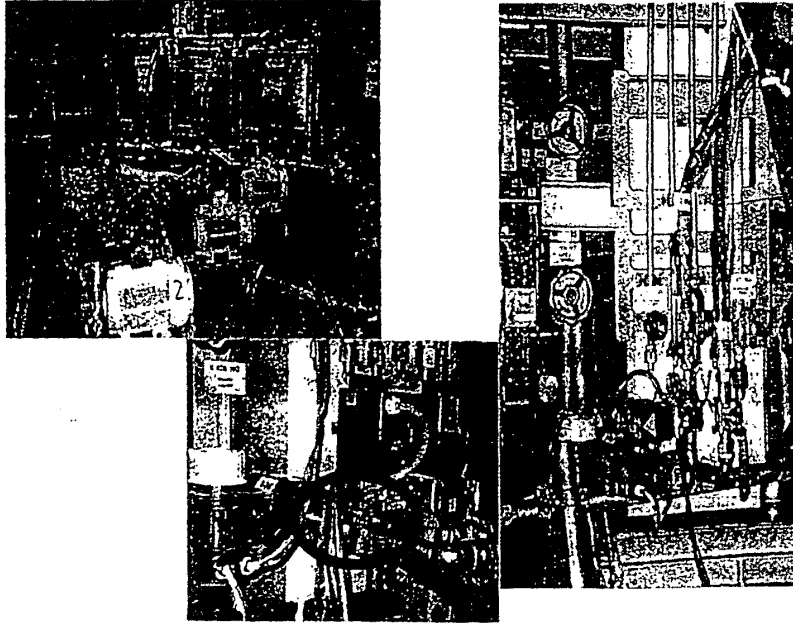
Materials	Corrosion Data (mm)	
	Point Lepreau	Doel 4
SA 508 C12		
SA 533 A		
SMAW SA 533 A/SA 533 A	26	
SA 508 2/SA 533 B (H)	11-19	
SA 508 2/SA 533 B (M)	9-26	
SA 515-70		13
SA 515/SA 193-B7 (washer)		27
GTAW (SA 515-70/304 ss) (I-B2 filler)		16
410 S (SA 240-410S)		0.75
SA 307		12
AISI 1018		17
AISI 1010		14
SA 541-3		21
SA 36		10
SA 106-B		
SMAW (E 7010) SA 508 C12		21
Average C-Steel (A212)		17

 FRAMATOME ANP

(4) 外接設備少

--一只外接 S/G blow down(如圖四)

Siemens SG Chemical Cleaning Process Process Implementation; Equipment Set-up (cont'd)



FRAMATOME ANP

圖四

(5) 不需腐蝕抑制劑(No inhibitor required)

--EPRI 需要腐蝕抑制劑，KWU 則否

(6) 廢料極少

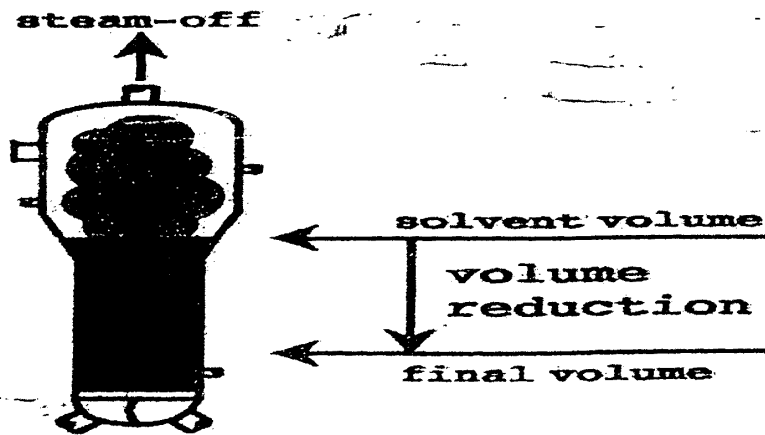
一藉 U 形管表面熱傳，加熱化學與飼水混合體，其在 solvent volume 的高度大約 10 公尺，混合體蒸發後，在 final volume 的高度大約 2.8 公尺。廢料只有 2 個 50 加侖桶，且可焚化 (incineration) 處理。

Potential Waste Solvent Processing Methods

Processing Method	Chelant Destruction	Estimated VR Factor
Incineration	Total	150
Evaporation	Low to none	3
Drying	High to total	120
Membrane Technology	None	4
Direct Solidification	None	Increased volume
Oxidation/Evaporation	High	75
Vitrification	Total	100

ERAMATOME, ANE

Waste Volume Reduction



(7)經濟效益佳

--清洗後經由管熱傳面積及主蒸氣壓力增加所提升的發電量，與較低的清洗費用比較，確實有很好經濟效益

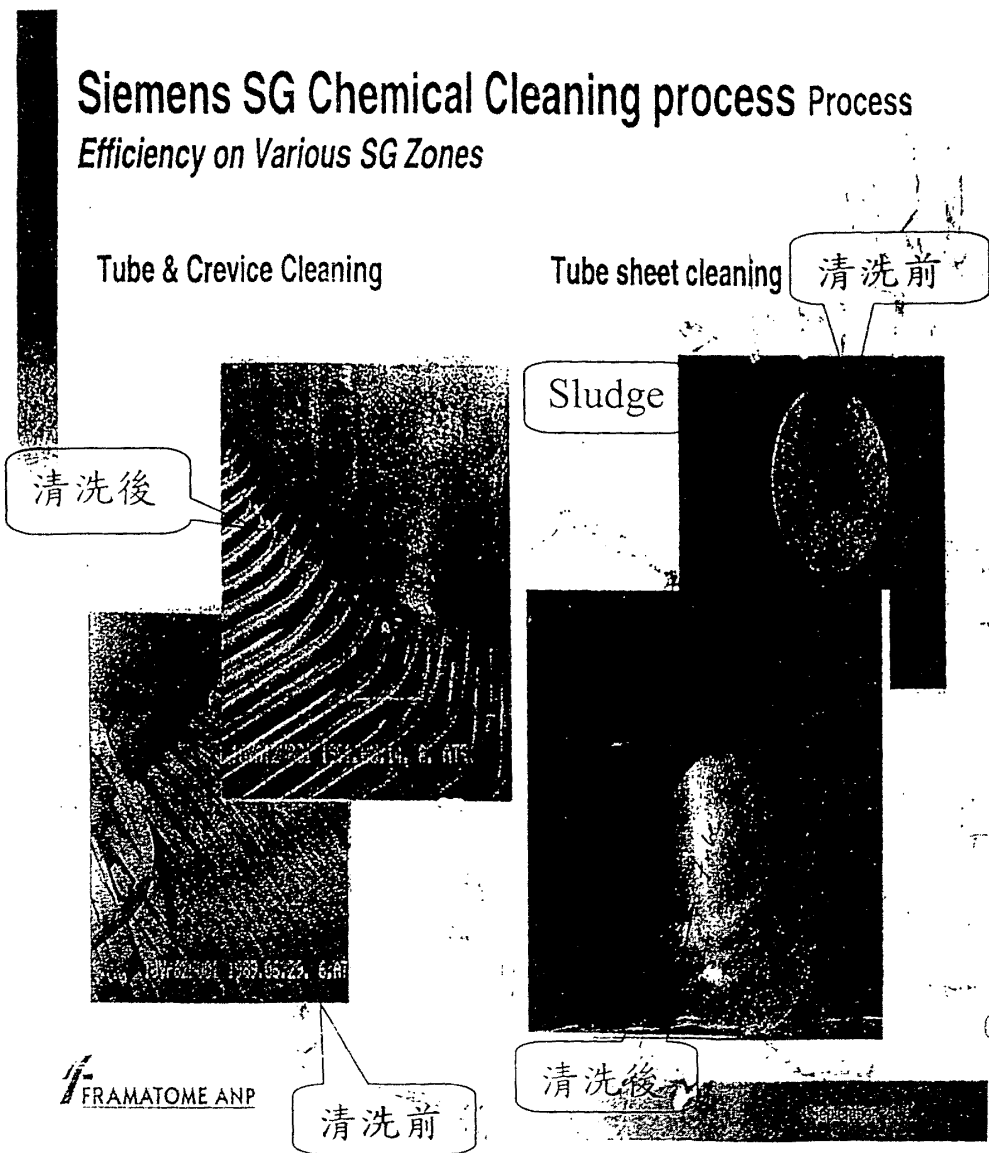
a. Economic Aspects:

Several recent cleanings resulted in significant improvement of SG thermal performance:

- Unterweser Application: The improvement of the SG thermal performance has corresponded to
 - Gain of 1.7% of the tube heat transfer surface or
 - Coolant temperature decrease of 1°F (0.5°C) or
 - Main steam pressure increase of 6.4 psia (0.45 bar)
- Stade Application: The improvement of the SG thermal performance has corresponded to
 - Gain of 4.6% of the tube heat transfer surface or
 - Coolant temperature decrease of 2.5°F (1.4°C) or
 - Main steam pressure increase of 17.4 psia (1.22 bar)
- Atucha Application: The improvement of the SG thermal performance has corresponded to
 - Gain of 4.3% of the tube heat transfer surface (According to Utility this value was actually 8%) or
 - Coolant temperature decrease of 2°F (1.1°C) or
 - Main steam pressure increase of 12.1 psia (0.85 bar)
 - Before cleaning plant couldn't operate at 100% due to SG water level oscillations. After cleaning 100% power operation was regained (oscillations were eliminated).
 - The moderator cooler (was also chemically cleaned) temperature could be decreased about 13°F.
 - Decrease of moderator temperature results to higher moderation and hence more efficient fuel burn-up.
- Paks-1 Application: Almost complete fouling improvement
- Point Lepreau application: The improvement of the SG thermal performance was Coolant temperature decrease of 6.5°F (3.6°C); but in addition to SG chemical cleaning also
 - Primary side mechanical tube cleaning.
 - Divider plate repair were performed.

Siemens Proprietary Information

(8) S/G 不同地帶的清洗效果



說明:Tube& Crevice 清洗前管表面是一層厚污垢、縫隙地區被污垢蓋住,清洗後管面變亮麗、縫隙地區變清楚可見。Tube Sheet 清洗前 Sludge 堆積兩 Tube 之間、管表面是一層污垢,清洗後管面變亮麗。

3. 結論及建議

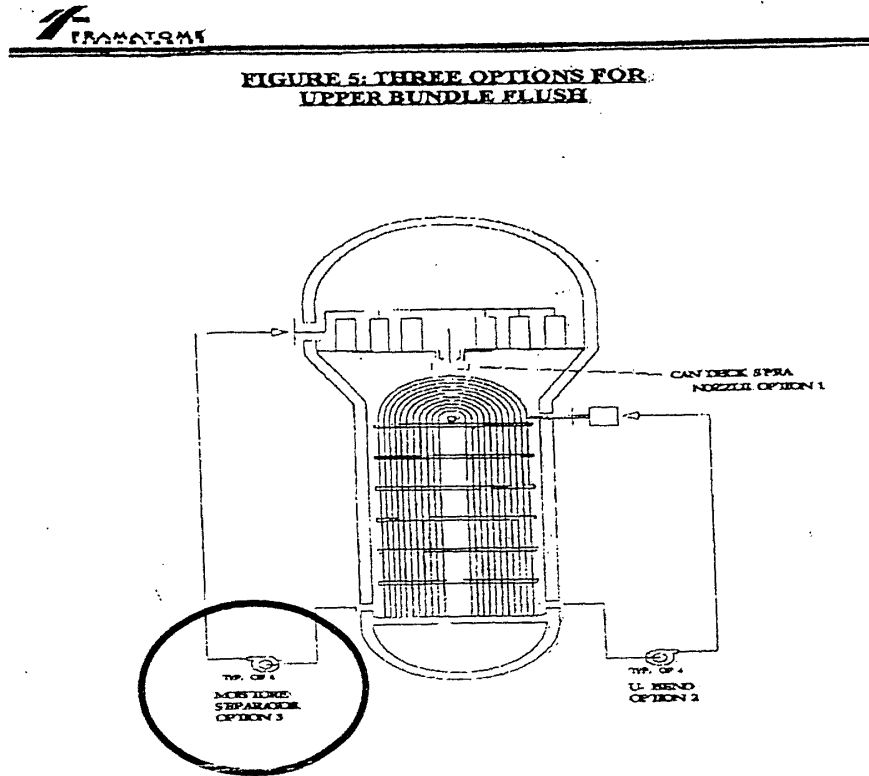
- 3.1. 目前蒸汽產生器二次側針對不同位置所發展出的機械式清洗方法計有 Sludge Lancing、壓力脈衝清洗、UBHC、High Volume Bundle Flush 等 4 種，而化學清洗是前 4 種方法的總成；因為它能清洗到任何位置，它也是許多電廠在機械式清洗方法無效(已累積太厚且成 Hard Sludge)時所能採取的唯一方法。但是不幸，有些電廠在執行化學清洗後不久，就不得不更換其蒸汽產生器，究係沈疴難治還是為化學清洗所傷，值得探究。
- 3.2. 本廠蒸汽產生器每次大修執行管底板 Sludge Lancing 並曾於 EOC-4 執行壓力脈衝清洗，另 EOC-12 開始執行 High Volume Bundle Flush，並同時有效善既有之 Sludge Lancing 設備，EOC-11 大修所發現的嚴重積垢，已清除絕大部份。
- 3.3. 雖然化學清洗技術已經成熟，對蒸汽產生器執行化學清洗 CS 的腐蝕速率疑慮已經澄清(西門子說明)，但以本廠蒸汽產生器塞管比例、積垢高度、UBIB 檢測結果等數據評估，本廠尚無立即執行化學清洗的需求，可等待累積更成熟的經驗後再執行。
- 3.4. 蒸汽產生器二次側的維護可說是蒸汽產生器維護的單門，關係蒸汽產生器的壽命及核三廠的營運壽命，不可不盡心盡力；在機械式清洗技術方面不但要趕上先進國家的水準，在化學清洗技術方面亦要不斷收集最新資訊，在適當時機採行最佳之維護對策。

(三)法國蒸汽產生器二次側管束沖洗技術

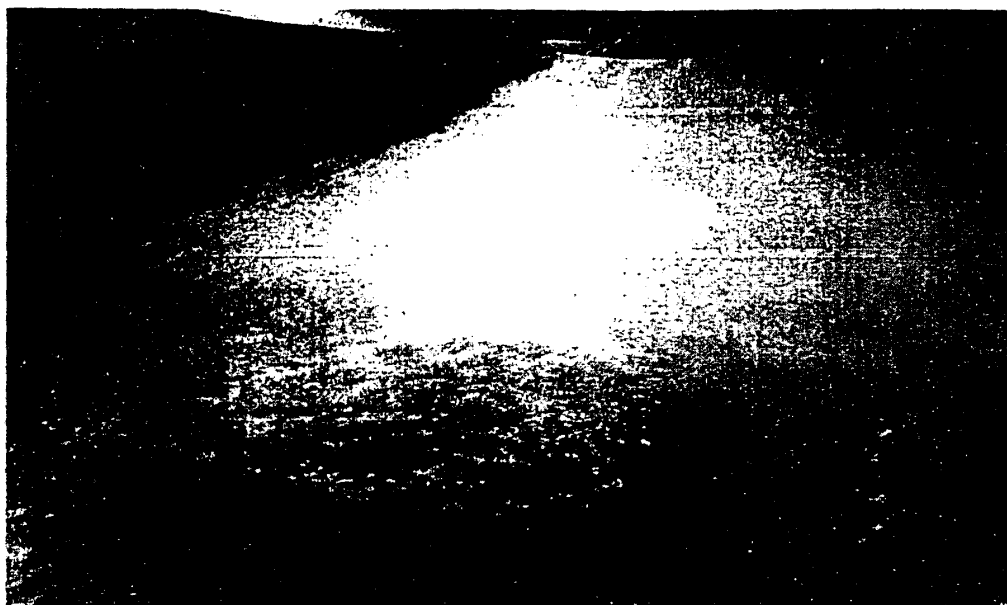
近兩年來蒸汽產生器之新式清洗方式，有 W、FTI(被 Framatome 併購)、ABB 三家公司執行管束沖洗，此種技術是清洗上層管束 (Tube Bundle) 之積垢(SCALE)。

1. Framatome 公司之 Upper Bundle Flush 流程：

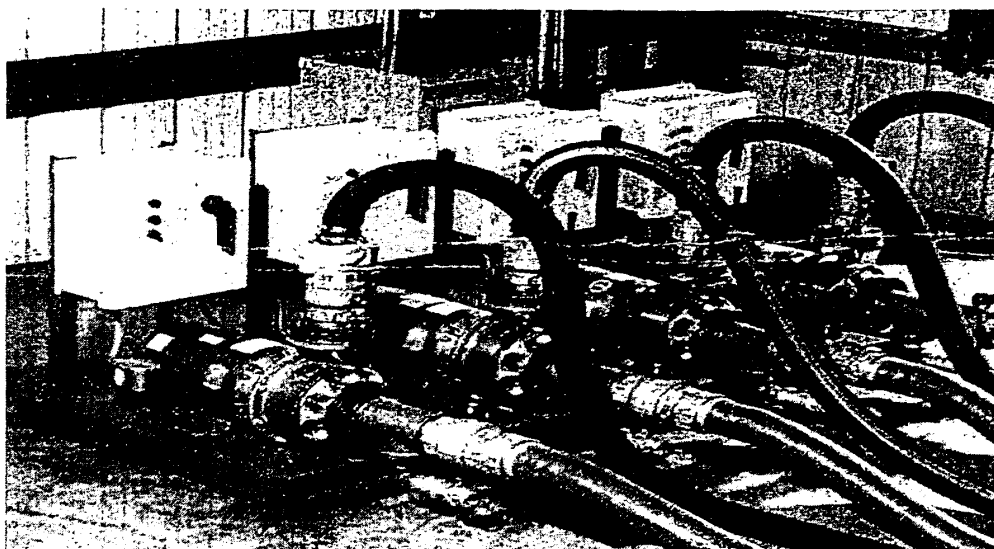
Framatome(即 FTI)公司清洗方法有三種，其中 OPTION 1、2 本廠 S/G 沒有這些構造，但 OPTION 3 跟本廠大略相同。



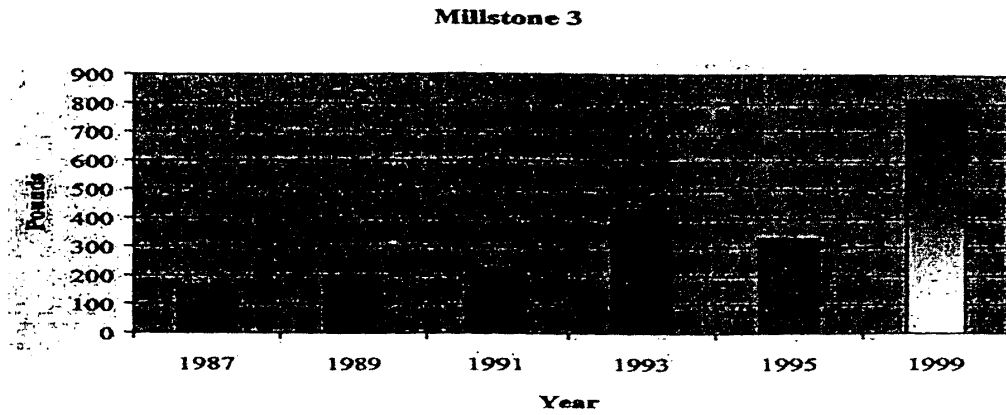
1.1. High Volume Bundle Flush/清洗情形圖大量水經旋渦葉片注入
上層管束情形



1.2. High Volume Bundle Flush 沖水泵安裝情形



1.3. High Volume Bundle Flush/實績 Millstone 3 在 1999 年執行 High Volume Bundle Flush 後，清洗出的 sludge 比 1995 年多大約 400 磅



2. 本廠 S/G 清洗之重要設備及流程：

包含 4 台泵(2000GPM, 50PSIG)、8 台過濾器，其方法為由手孔接管至泵(126FT)，經泵出口銜接至 2 台過濾器進口，然後由出口分成 4 條管路，經二次側人孔(176FT)，由 16 孔旋渦葉片注入水，清洗 S/G 上層管束，本廠蒸汽產生器清洗方法由機械課反應器股開發。

2.1 本廠 EOC-11 未執行 High Volume Bundle Flush, EOC-12 有執行 High Volume Bundle Flush Sludge 較 EOC-11 一號機多大約 287 公斤、二號機多大約 251 公斤。

重量統計表

一號機					
	S/G"A"	S/G"B"	S/G"C"	滯留槽	TOTAL
EOC-4	38.5	45	35		118.5
EOC-5	15	19	20		54
EOC-6	30.2	27.5	22.2		79.9
EOC-7	19.3	22.7	17.4		59.4
EOC-8	20.3	21.1	23.6		65
EOC-9	35.3	23	27.5		85.8
EOC-10	33.9	24.4	27.4		85.7
EOC-11	60.68	93.3	39.94		193.92
EOC-12	202.5/17.82	68.1/4	73.8/9.18	138.3	482.61
二號機					
	S/G"A"	S/G"B"	S/G"C"	滯留槽	TOTAL
EOC-4	21	32.5	18		71.5
EOC-5	24	21.5	22.5		68.2
EOC-6	33.3	28.9	26.2		88.4
EOC-7	26.2	27.4	25.7		79.3
EOC-8	21.9	46.6	20.9		89.4
EOC-9	26.3	38.8	26.6		91.7
EOC-10	35.6	52.6	38.4		126.6
EOC-11	134.6	73.3	96.1		304

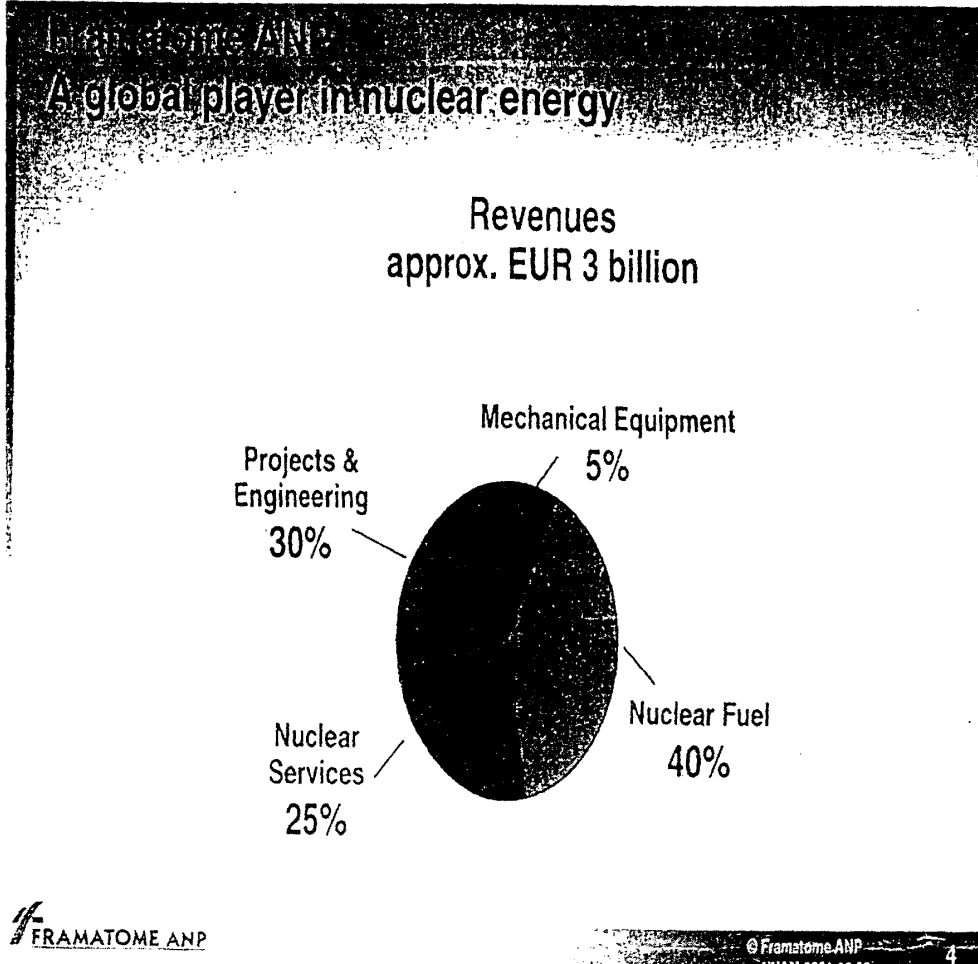
3. 結論及建議

本廠目前亦有執行蒸汽產生器 U 形管上部 High Volume Bundle Flush, 做法與 Framatome 公司之 Upper Bundle Flush 做法類似, 效果亦不遜色。但本廠設備究竟是自己開發, 設備較不 Compact 之外, 管路亦嫌雜亂, 且缺自動化, 這些都是有待改善之處。

(四). 訪問 Framatome 心得

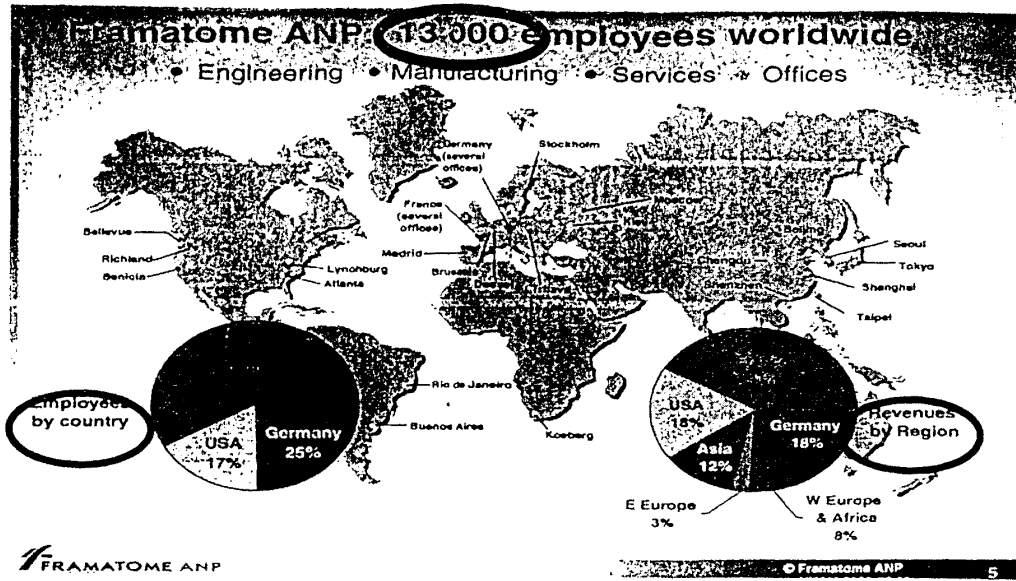
1. Framatome 概況:

2001 年併購 Siemens 核能部門後，公司改名稱為 FRAMATOME ANP；
將來全世界 PWR 製造廠商只剩：西屋、三菱、Framatome 三家

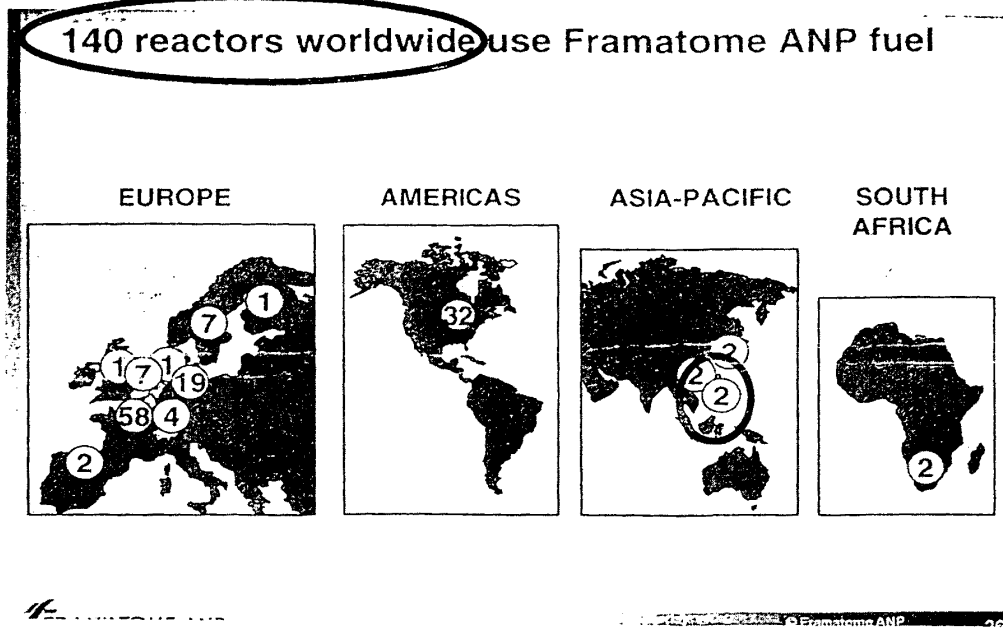


說明:Framatome 年收入大約 3 億歐元，其中 Nuclear Fuel 佔大宗，
包含本公司核一、二廠。本廠 EOC-13 大修將執行的 Split pin
更換，屬於 Nuclear Services。

Framatome 全球有 130000 員工



全球有 140 個反應爐使用 Framatome 燃料，包含本公司核一、二廠



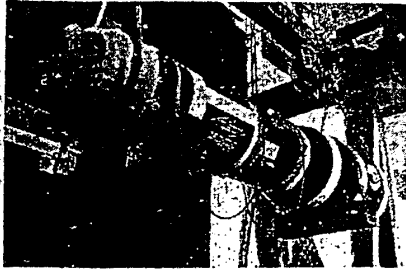
Framatome 每年有能力製造 2 個 4-loop 的電廠

Mechanical Equipment

The reference nuclear equipment manufacturer

- Chalon (Saône-et-Loire) plant :
 - 74 reactor vessels & closure heads
 - 33 replacement closure heads
 - 258 steam generators
 - 66 pressurizers
- Jeumont (Nord) plant :
 - 220 motor pump assemblies
 - 4,500 control rod drive mechanisms

Capacity :
two four-loop plants/year

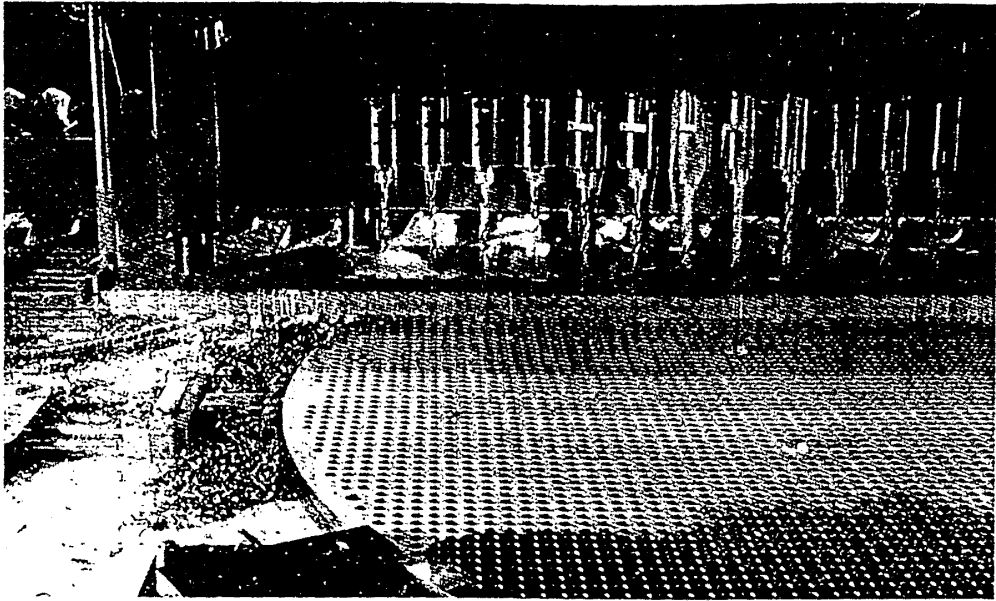


FRAMATOME ANP © Framatome ANP 20

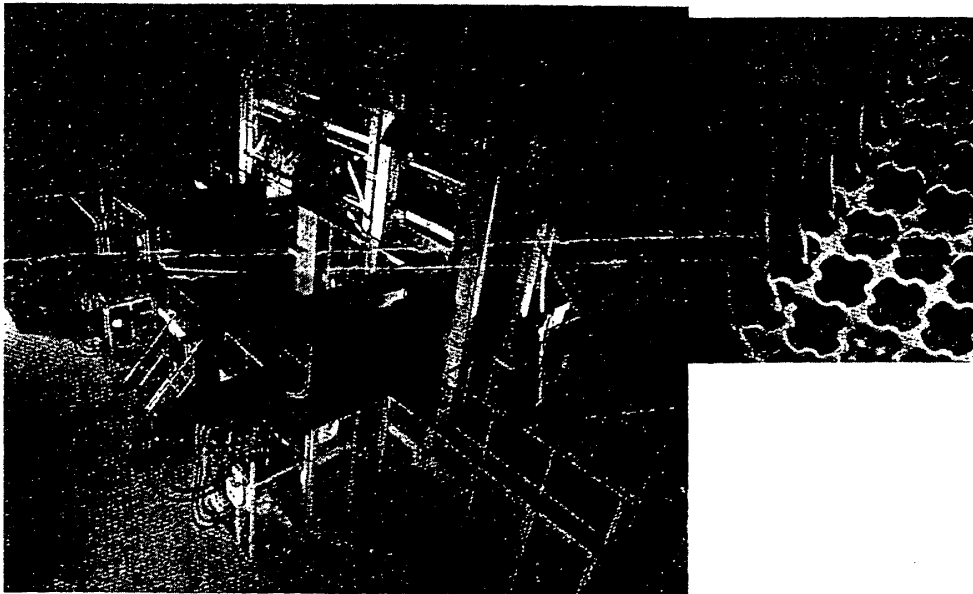
蒸汽產生器管板鑽孔



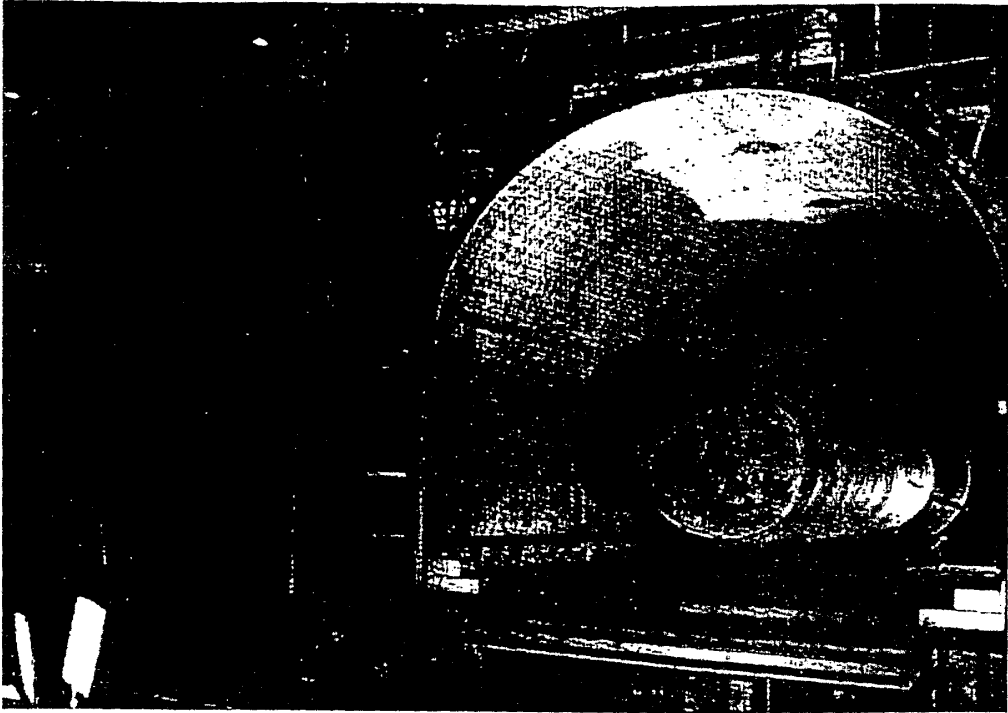
蒸汽產生器支持板鑽孔



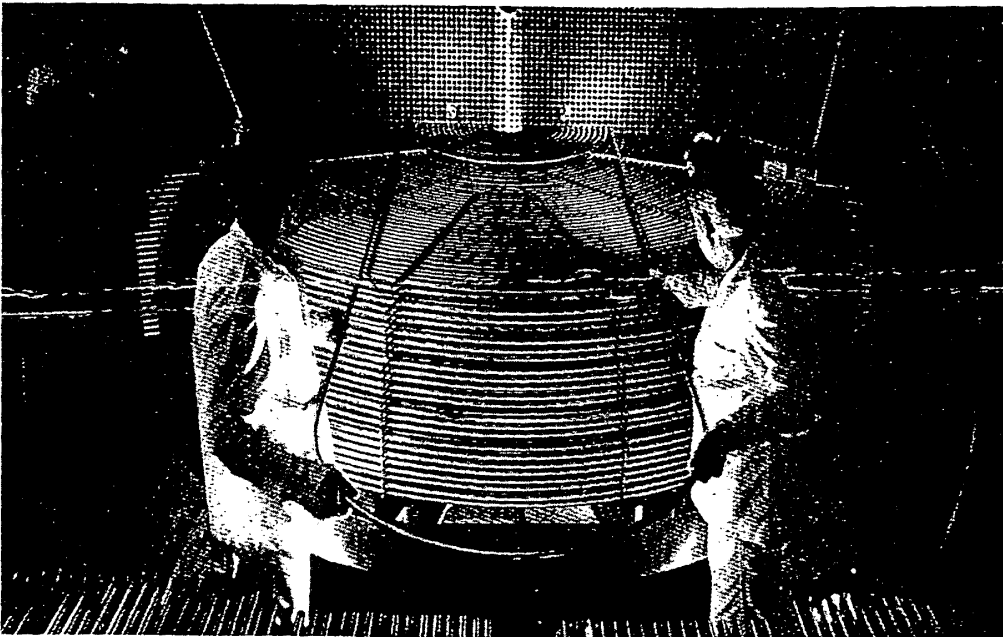
蒸汽產生器支持板加工成四葉形圖



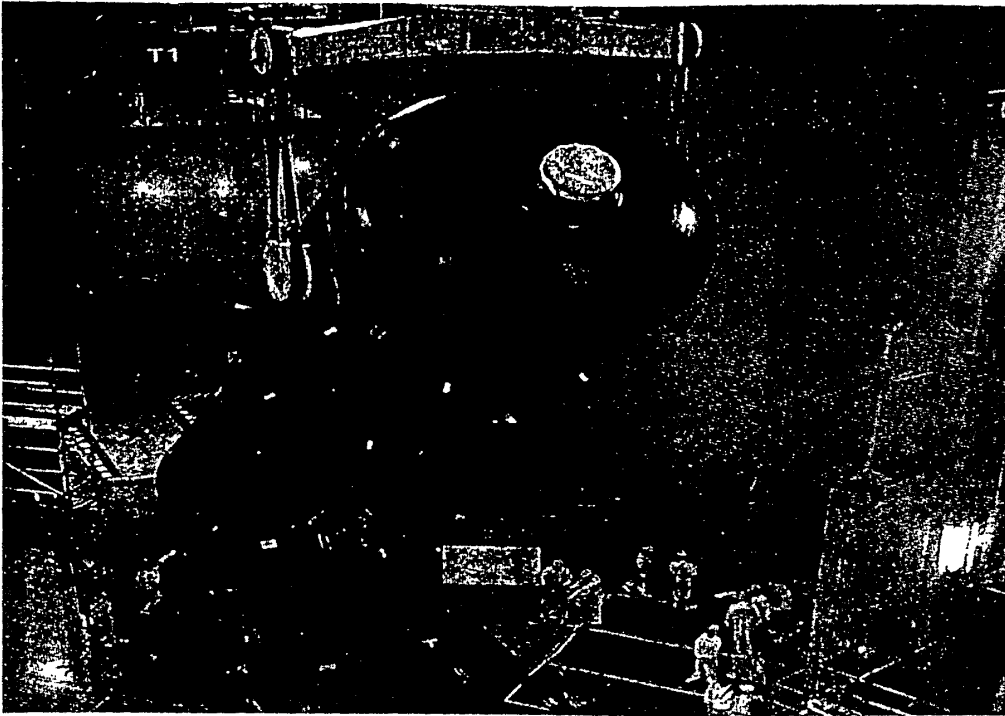
蒸汽產生器在烤爐內加熱圖



蒸汽產生器安裝 U 形管圖

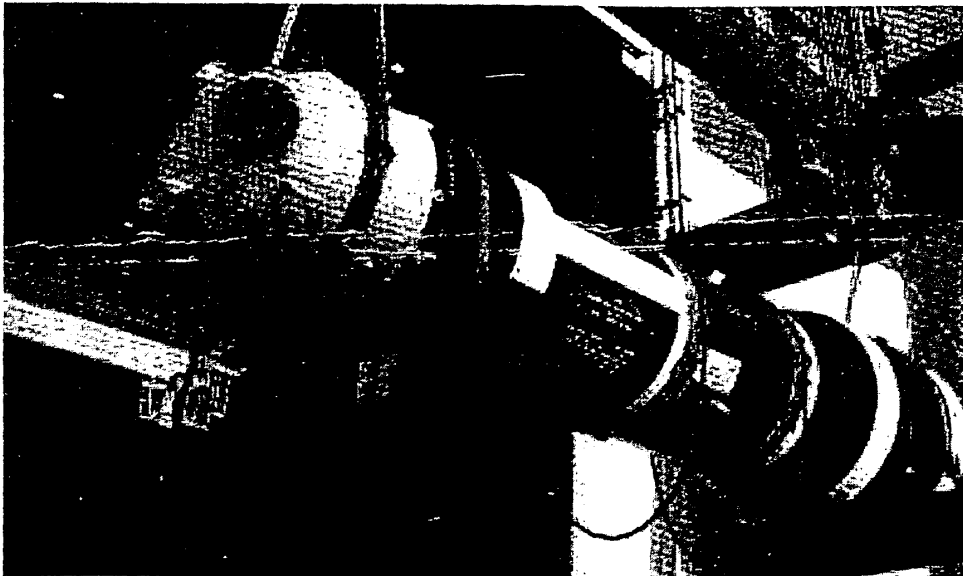


Gravelines 電廠 4 號機更換蒸汽產生器



說明:更換的蒸汽產生器由 Equipment Hatch 搬運進入 CTMT

大陸 Ling A0 電廠新蒸汽產生器



2. 學習心得

- 2.1. 一次側重要組件如反應爐槽、反應爐蓋、蒸氣產生器進水室及出水室材質均為低合金鋼，但為避免硼酸腐蝕，於內表面 cladding 一層不銹鋼，部份地區還考慮到金屬的融合性及熱膨脹係數而 Cladding 一層英高鍊。
- 2.2. 近年來 OCONEE 核電廠三部機之反應爐蓋穿越管及 VC SUMMER 核電廠反應爐 HOT LEG NOZZLE 焊道龜裂造成 RCS 外漏，已成為核能界關注的焦點，本廠反應爐蓋穿越管及反應爐 HOT LEG NOZZLE 製造材料及施工方法與上述兩家電廠大略相同，核三廠應未雨綢繆預做準備，以避免這些現象發生。
- 2.3. 上述這些重要組件，如發生問題要檢修，對電廠的衝擊很大，只有廣泛收集資料，了解問題的肇因，預作檢測防範，才是最佳方法。

() 電返國報字第 號出國報告

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：)

服務機關：台灣電力公司

出國人：職 稱：

姓 名：

(姓名代號)：

行政院研考會／省(市)研考會 編號欄

出國地點：

出國期間：

報告日期：

出國計劃： 年度第 號