

核能四廠 1 號機爐內組件安裝
視察報告

行政院子能委員核能管制處

中華民國九十六年八月二十八日

目錄

壹、前言	1
貳、爐心側鈹組立	1
參、爐心底鈹安裝	4
肆、爐內核儀管殼/控制棒驅動殼安裝	7
伍、心得與結語	10
附表	12
附圖	13
附錄-A	32
附錄-B	35

壹、前言

爐內組件安裝的核安視察，其巨觀的可接受準則將經由控制棒可用性測試、RPV 水壓測試、及 ECCS (RPV open)測試等，予以確認。依據施工現況，興建期間只能執行品質視察；本項視察以爐心側鈹、爐心底鈹、爐內差壓管、爐內核儀管殼/控制棒驅動殼(ICH/CRDH)等之安裝為主，並視察其相關之模擬鉚裝之作業。

品質視察與運轉功能審查有其基本方法之差異。品質視察工作之主要依據為「核子反應器設施品質保證準則」。在系統功能測試中，依據「核子反應器設施運轉執照申請審核辦法」第七條，測試報告需包含：測試之可接受準則、及測試結果對原設計值之比較分析，標準程序書條理明確。然而，在品質視察階段，設計者、製造者及安裝者之間的可接受準則，在某些情況下是可以互相調節的。基於下列理由：

①品質視察並不等於業者之細部設計、安裝能力之審查；

②尊重業主、施工團隊等之自主營運、及工程介面管理；

故品質視察過程儘量不涉入設計、製造、安裝等介面規格之研判。

核四廠一號機反應爐內部組件安裝工作大約始於 95 年 12 月下旬；本報告主旨為截至 96 年 8 月中旬之視察摘要，內容大體上係綜合該期間內，相關視察人員之視察活動、視察回報等資料。重要項目以爐心側鈹組立、爐心底鈹安裝、爐心差壓管、爐心核儀殼 (ICH) 及供安置 FMCRD 之控制棒驅動殼(CRDH)等為主。

貳、爐心側鈹組立

爐心側鈹為一圓筒狀結構體，材料為 SA240 Type316L 不銹鋼，高度約 6.9 公尺、外徑約 5.6 公尺，重量約為 58.6 公噸。此項組立的工作為將爐心側鈹下緣焊接在側鈹支撐環(support ring)上，以達成後續組件之結構支撐、分隔降流區與爐心水流區的主要功能。爐心側鈹安裝之先決條件為精確的 RPV setting，如附圖-1。組立工作的主要尺

寸規格包括：①設備的對心，即：以爐心側板中心線與 RPV 中心線 $\Phi 3.2\text{mm}$ 、 0° 方向 $\pm 0.8\text{mm}$ 、及相關水平度為主；及②shroud 與 support ring 之間的焊接工作。

一、組立前之準備與定位工作

爐心側板下緣將與側板支撐環焊接處，在離開製造廠時，已預製雙邊倒 J-開槽。由於施工初期現場尚無天車可用，為了保護該等倒 J-開槽在吊運、定位過程時之完整性，必須分別在爐心側板、側板支撐環 10° 、 100° 、 190° 、 280° 處各焊接 4 組臨時支撐，每組臨時支撐之間置以千斤頂，其油壓用以支持 58.6 公噸爐心側板重量，如附圖-2。另外，於 30° 、 210° 方位，預先在 shroud 焊製導銷，以及在 support ring 上焊置定位孔，供吊裝過程定位之用，如附圖-3，其相對映之 Shroud 安裝程序書附件-C 施工如附圖。此外，組立前之預備工作尚包括了爐心側板水平度、正圓度之測量等，均需符合規格。

安裝前現場複測 RPV 上法蘭中心線偏離值 $r=2.33\text{mm}$ 、側板支撐環中心線偏離值 $r=0.32\text{mm}$ ，其相對於 94 年 3 月 RPV setting 期間所度量者上法蘭 $r=1.6\text{mm}$ 、側板支撐環 $r=0.3\text{mm}$ ；均能符合規格值 7.5mm 、 0.6mm 。有關#1 RPV shroud support ring 頂部水平製造公差，規格應小於 2.3mm ；依據台電所提數據表，如附圖-4，施工團隊認為在 0° 比 225° 高出 2.9mm 。焊接前設備的對心，主要以爐心側板中心線與 RPV 中心線 $\Phi 3.2\text{mm}$ 、 0° 方向 $\pm 0.8\text{mm}$ 、及上法蘭、core plate ledge 水平度均小於 3mm 以內。附圖-5 為 960404 焊接初完成時取樣的一組數據： $r_A=1.35\text{mm}$ ， $r_B=0.4\text{mm}$ ； 0° 方向的偏差則符合在 $\pm 0.8\text{mm}$ 以內。

二、焊接工作

爐心側板厚度約 65mm 、側板支撐環厚度約 80mm ，依據施工規範，本項焊接工作每 13mm 厚度必須執行液滲檢測 NDE，因此其程序書計畫分為 8 層電焊，附圖-6；第 1、3、5、7 層從外側焊接，第 2、4、6、8 層則從內側焊接。實際施作過程，則分為 6 層施焊，內外各 3 層；每

層焊接後執行均依次 PT-NDE。

由於 shroud-support ring 上表面水平度，在製造階段產生 0~2.9mm 之公差，超出原安裝程序書所規範自動電焊施工法之焊縫要求；因此為了水平度考量，現場 shroud-support ring 之間隙作適當調整，並將其中第 1 層打底採取手動焊接。除此之外，均採取自動焊接。為了使焊接期間，shroud 整體溫度保持對稱，以降低爐心側板變形的衝擊，所有焊接均採取從四個對稱象限同時施焊。附圖-7 為爐心側板初安置進 RPV 之狀況；焊道在爐內高程約 2.4 米處，無法在大尺度照片中顯示。該圖中白色環狀處即為 PSAR 所稱之中法蘭，或稱 core plate ledge；其上的孔為供爐心底板安裝螺栓之螺栓孔，白色反光亮點為供爐心底板安裝 seismic pin 之處。附圖-8 分別為 96.03.20 外側第 3 層進行第二次液滲檢測 NDE，及將自動電焊機移至爐心側板內側準備第 4 層焊接之場景。

三、安裝完成後之定位檢驗

依據 96.04.04 台電所提之數據，圖-5 中爐心側板上法蘭 A 之對心上法蘭之對心 $r_A=1.35\text{mm}$ 、scribe line level-B 之對心 $r_B=0.4\text{mm}$ ；分別均小於 1.6mm、1.6mm。經參考其 core plate ledge 在不同施工階段——即第 1、2、3 層銲後之水平度，如附錄-A，分析整理如表 1。其水平度數據符合 GE 安裝規格 26A5271 所要求之 3mm；其中，施工單位所提之度量數據均建立在相對高程，附如表內相對零點。

參、爐心底板安裝

爐心底板為一高度約 0.4~0.65 公尺、外徑約 5.4 公尺的圓形結構物，材料為 SA240 Type316L 不銹鋼。板上有孔洞，用以容納 205 支控制棒導管 (CRGT)、62 支爐心核儀導管 (ICGT)、CP Δ P 儀器管等等，下方焊接有不銹鋼板衍樑。爐心底板將以螺栓預力鎖緊在爐心側板的中法蘭（或稱 core plate ledge），以滿足其功能，即：a. 作為控制棒導管及其所負載燃料元件等的橫向支撐；b. 爐心核儀導管之穿越孔；c.

作為 52 支外圍燃料元件之支撐；d. 規範冷卻水流向使其通過爐心。

一、組立前之預備工作

爐心底鈹之精準安裝為 RPV 能否發揮功能之樞紐。將來 FMCRD 的長度，即：控制棒全出時 4774mm，控制棒全入時 8434mm，全賴 205 支 CRDH 與爐心底鈹 CRGT 孔的精確對心。運轉時控制棒位置，即：全入時位於頂部導架與爐心底鈹之間，全出時位於爐心底鈹與 CRDH 之間的 CRGT 內。其可用度仰賴 205 組頂部導架 fuel cell 孔、爐心底鈹 CRGT 孔、及 CRDH 中心線的精確對心。

爐心底鈹可安裝之先決條件則為：① 先前爐心側鈹之精確安裝；② 各組件之製造數據正確，包括爐心底鈹 205 CRGT 孔中心線、與 RPV 爐底 205 stud tube 中心線，二者的製造(as-built)數據必須一致在接受範圍內。爐心底鈹在倉庫待運的場景如附圖-9，初步吊至 core plate ledge 場景如附圖-10。

二、定位與組立之程序

由於施工階段反應器廠房之天車尚未可用，因此吊裝工作，係利用 960419 當天早晨將清潔屋吊離反應器廠房，如附圖-11；中午時間將爐心底鈹吊入 shroud，置於 core plate ledge 上；並在當天下午日落前，將清潔屋回復至定位。依據 960327 台電所提的程序書，組裝程序為在爐心側鈹的 core plate ledge 上預置若干個墊塊，如附圖-12；利用吊車將爐心底鈹安放在墊塊上，並依序：

- 1、將爐心底鈹調至定位，對準 RPV 中心線 $\Phi 0.8\text{mm}$ 、及 $0^\circ-180^\circ$ 、與 $90^\circ-270^\circ$ 二條線。
- 2、測量二個 master hole，確認其分別與對應 RPV 爐底 stud tube 中心線(temperature offset 後) $\Phi 0.8\text{mm}$ 。
- 3、利用墊高的空隙，先行安裝 20 支定位銷(seismic pin)，讓爐心底鈹固定。參考附圖-13，定位銷的安裝程序為：
 - a. 將定位銷上部插入爐心底鈹對應孔，利用鋼纜、Bar-B 將定位

銷繫於爐心底板；將偏心套筒利用 Bar-A 頂住，預置於 core plate ledge 對映孔上半部。

- b. 爐心底板吊至適當安裝位置時，移除鋼纜。
- c. 反方向旋轉定位銷與偏心套筒，直到定位銷能套入偏心套筒上半部為止。
- d. 移除 Bar-A，讓偏心套筒插入 core plate ledge 對應孔。
- e. 移除 Bar-B，讓定位銷插入偏心套筒。

3、將爐心底板重量交給吊車，移除臨時墊塊並清潔該區域，再回裝爐心底板，並重測量中心點與二個 master hole 的對心數據。如果不符合 $\Phi 0.8\text{mm}$ ，重複前述步驟。

4、確認 81 支螺栓能夠穿越 core plate、與 core plate ledge 對應孔；若無法符合，需重複前述步驟。

5、在 core plate ledge 於 20 支定位銷處鑽孔，並安裝 anti-rotation bar 予以點焊固定。

6、將 81 支螺栓依序依規格鎖磅，並紀錄鎖磅數據。

定位銷之現場照片如附圖-12；施工圖對照如附圖-14。在圖-14 右側之定位銷，其上段 OD 41.28mm、下段 OD 50.8mm、偏心率 4.06mm；偏心套筒 ID 50.95mm、OD 66.73mm、偏心率 4.06mm；左圖則為鎖磅後的螺栓。由於定位銷上部 OD 41.28mm、爐心底板 pin hole ID 42.9mm，因此程序書中第 3 步驟一些微吊高爐心底板時，偏心套筒及定位銷仍將留置於 core plate ledge 上。

今年 6 月初的現場查證，有關 anti-rotation pin 部分，台電認為依據工程圖 105E2579，可以選擇改採由 core plate ledge 上面點鉚固定，如附圖-15。該案例中，視察者詢問現場人員並得到口頭答覆「GE 已知曉現場的施工方式」後，只能尊重業主、設計者的選擇，理由參如下例。爐心底板品質文件顯示，與偏心銷相關數據：GE 向 Hitachi 的採購規格中，core plate pin hole 座標的容許公差，Hitachi 製造過程並未能完全符合。然而，Hitachi 致 GE 的評估報告中，說明製造公差雖然不符合採購規格，卻仍然遠小於安裝過程可調節的容許度

(adjusting allowance)之 8.725mm，參附圖-16；GE 也同意該製造成品為可接受。該議題另應考慮：爐心底板安裝尺寸尚需受到 81 支螺栓/螺栓孔對心之限制—每個螺栓孔 ID 47.6mm、螺栓外徑 OD 33.9mm。綜合言之，類似此種製造、安裝等過程之細部零件公差，顯然屬業主商業議題，視察者只能給予尊重。

三、安裝完成後之定位檢驗

依據 GE 安裝規範 26A5271 第 106 頁，爐心底板安裝需要測量二個 master holes 的對心值。施工單位對原程序書中所稱的 master holes，其解釋為 CR(02, 31)與 CR(66, 39)，其所提該二點的 CRGT 孔中心線與對映 RPV 短管中心線之對心數據，附圖-17、-18，計算如下。

Master hole #1 CR(66, 39)：理想值 (2.08, 0.26)

螺栓鎖磅前測量值 (2.14, 0.01)； $r \doteq 0.26\text{mm} < 0.4$

螺栓鎖磅後測量值 (2.15, 0.03)； $r \doteq 0.24\text{mm} < 0.4$

Master hole #2 CR(02, 31)：理想值 (-2.08, -0.26)

螺栓鎖磅前測量值 (-1.89, -0.29)； $r \doteq 0.20\text{mm} < 0.4$

螺栓鎖磅後測量值 (-1.75, -0.34)； $r \doteq 0.34\text{mm} < 0.4$

上述測量值數據均在 $\phi 0.8\text{mm}$ 之內；即，施工人員在安裝過程，已將上述二點調整到 GE-26A5271 所定規格內。

爐心側板之安裝，在其吊入 RPV 之前，需要在爐底搭設鷹架，俾施工人員後續作業。該鷹架除了供人員安裝爐心底板 seismic pin、底板螺栓之外，亦為提供 CP Δ P/RIP Δ P 差壓管配管人員之所需，同時該鷹架亦必需騰出各差壓管沿著爐心側板內側通過之空間。另外，其拆除過程，只有 shroud support leg 或直徑 27.5 公分的 CRGT 孔能作為物件攜出通道孔。此部分的現場配置相當良好。

肆、ICH/CRDH 安裝

ICH 與 CRDH 之安裝為爐內下腔(RPV lower plenum)工作之一部分。爐內下腔的工作，總計有：分別於 960706、960712 之前焊接完成之 CP Δ P 差壓管、RIP Δ P 差壓管，以及續 ICH/CRDH 之後的 ICGT 焊接、ICGT stabilizer 安裝等。其中 ICH/CRDH 安裝，除了將來需能提供爐心核儀、與 FMCRD 之可安裝外，焊接規格更需符合 RPV 壓力邊界之要求，與核能安全關係密切。

參考 2902-71P-2068 ICH/CRDH Installation 程序書，了解台電的準備現況。其長度達 4.7 米的 ICH、及 CRDH 將裝置在 crate 內，經 RB EL+12300 保留的設備吊裝開口，藉由該處 10 噸設備起重機垂直吊入 EL-1700，再經滾輪滑車、小吊車運到設備通道口，及小台車進入 RPV 爐底。最後再利用 chain-block 吊直、對準目標的 RPV 穿越孔、並依據規格 alignment，以供施銲。今年 6 月中旬的團隊視察，可以看到施工單位在現場已作了相當良好的準備工作。

安裝尺寸方面，分為高程與對心。依據圖-19 的 GE 規格，高程方面：CRDH 焊接後，其頂點與爐心底板表面距離為 3700mm；ICH 則頂點與爐心底板表面距離為 3793mm。中心線對心方面，ICH 較為單純。依據 960725 汽源組表示，62 支 ICH 的銲前對心均能滿足 105E2615 之規格，即：頂端 $\phi 6.0\text{mm}$ ，或半徑 $r < 3\text{mm}$ 。經查其中 3 支 ICH，其點焊後、焊接前的對心數據，如下：

Location no. 007，即 ICH(12, 37)：

$$x=2.0, y=2.0; r \doteq \sqrt{(x^2+y^2)}=2.8。$$

Location no. 015，即 ICH(20, 37)：

$$x=1.0, y=1.0; r \doteq \sqrt{(x^2+y^2)}=1.4。$$

960725 現場人員解釋：此 ICH 已於 960707 通過 plug-guage 檢驗。

Location no. 037，即 ICH(36, 13)：

$$x=0.5, y=-1.5; r \doteq \sqrt{(x^2+y^2)}=1.6。$$

至於 ICH 下法蘭之對心則未抽查，理由為預期該處較不至於因為尺寸問題產生困難。

依據施工單位之資料，CRDH 對心規格要求較嚴謹：其頂端與爐心底板對映 CRGT 孔在考量溫差膨脹預調節後，其中心線應滿足 $\phi 0.8\text{mm}$ 或 $r < 0.4\text{mm}$ ，且各溫差膨脹預調節方位不同；下法蘭則其中心線與頂端中心線需保持在 $\phi 5.0\text{mm}$ 或 $r < 2.5\text{mm}$ 。換言之，總長 4.7 米的 CRDH 其傾斜度需小於 $2.5/4700$ 。本報告取樣現場 5 支 CRDH 之焊接完成後，經辦部門、品質管制、施工者等之會驗數據，如附錄-B；將其對心狀況提列如下，以供參考：

CRDH 02-35

Tip：理想值 $x = -2.08$ ， $y = 0$

測量值 $x = -2.09$ ， $y = 0.22$

計算值 $r = 0.22 < 0.4$

flange：測量值 $x = -1.50$ ($\Delta x = 0.59$)， $y = 2.09$ ($\Delta y = 1.87$)

計算其與 tip 的偏差 $= (0.59^2 + 1.87^2)^{1/2} \doteq 1.96 < 2.5$

CRDH 18-35

Tip：理想值 $x = -1.04$ ， $y = 0$

測量值 $x = -1.03$ ， $y = -0.01$

計算 $r = 0.01 < 0.4$

flange：測量值 $x = -2.48$ ， $y = -0.73$

計算其與 tip 的偏差 $r = (1.45^2 + 0.72^2)^{1/2} \doteq 1.62 < 2.5$

CRDH 26-35

Tip：理想值 $x = -0.52$ ， $y = 0$

測量值 $x = -0.68$ ， $y = +0.01$

計算 $r = 0.16 < 0.4$

flange：測量值 $x = -0.2$ ， $y = -0.59$

計算其與 tip 的偏差 $r = (0.48^2 + 0.6^2)^{1/2} \doteq 0.77 < 2.5$

CRDH 42-35

Tip：理想值 $x=+0.52$ ， $y=0$

測量值 $x=0.28$ ， $y=-0.24$

計算 $r=0.34 < 0.4$

flange：測量值 $x=1.06$ ， $y=+0.21$

計算其與 tip 的偏差 $r=(0.78^2+0.45^2)^{1/2} \doteq 0.9 < 2.5$

CRDH 50-35

Tip：理想值 $x=+1.04$ ， $y=0$

測量值 $x=1.07$ ， $y=0.01$

計算 $r << 0.4$

flange：測量值 $x=1.04$ ， $y=-0.98$

計算其與 tip 的偏差 $r=(0.03^2+0.99^2)^{1/2} \doteq 0.99 < 2.5$

經觀察前述 5 支 CRDH 安裝過程，均能滿足，即：其頂端與爐心底板對心在 $r < 0.4\text{mm}$ 時，flange 亦能滿足 $r < 2.5\text{mm}$ 規格。

附圖-20 為 Incore housing 在工廠拆裝準備工作，以及焊接過程，在爐底進行階段性液滲非破壞性檢測 (PLP-NDE) 之情形。附圖-21 為 960810 爐內 CRDH 安裝狀況：圖中的 CRDH 02-35 在完成 9mm 鐸道厚度的狀況，CRDH 34-35 則已完成全部焊程並通過 Go-guage。另外，第二批的 5 支 CRDH 02-35、14-35、30-35、46-35、及 62-35 等焊裝過程，在其 9mm 鐸道厚度時，視察者從現場工作人員得知其頂點的對心狀況，也相當良好。

伍、心得與結語

爐內組件安裝為一相當專業化之工作，其所要求的精確度、長期 life-time 的可用度均很高。本案視察過程，大體上係遵循台電自提之程序書、施工安裝規格等資料；並追蹤其施工單位是否遵循台電自提之品保方案，作為視察目標。

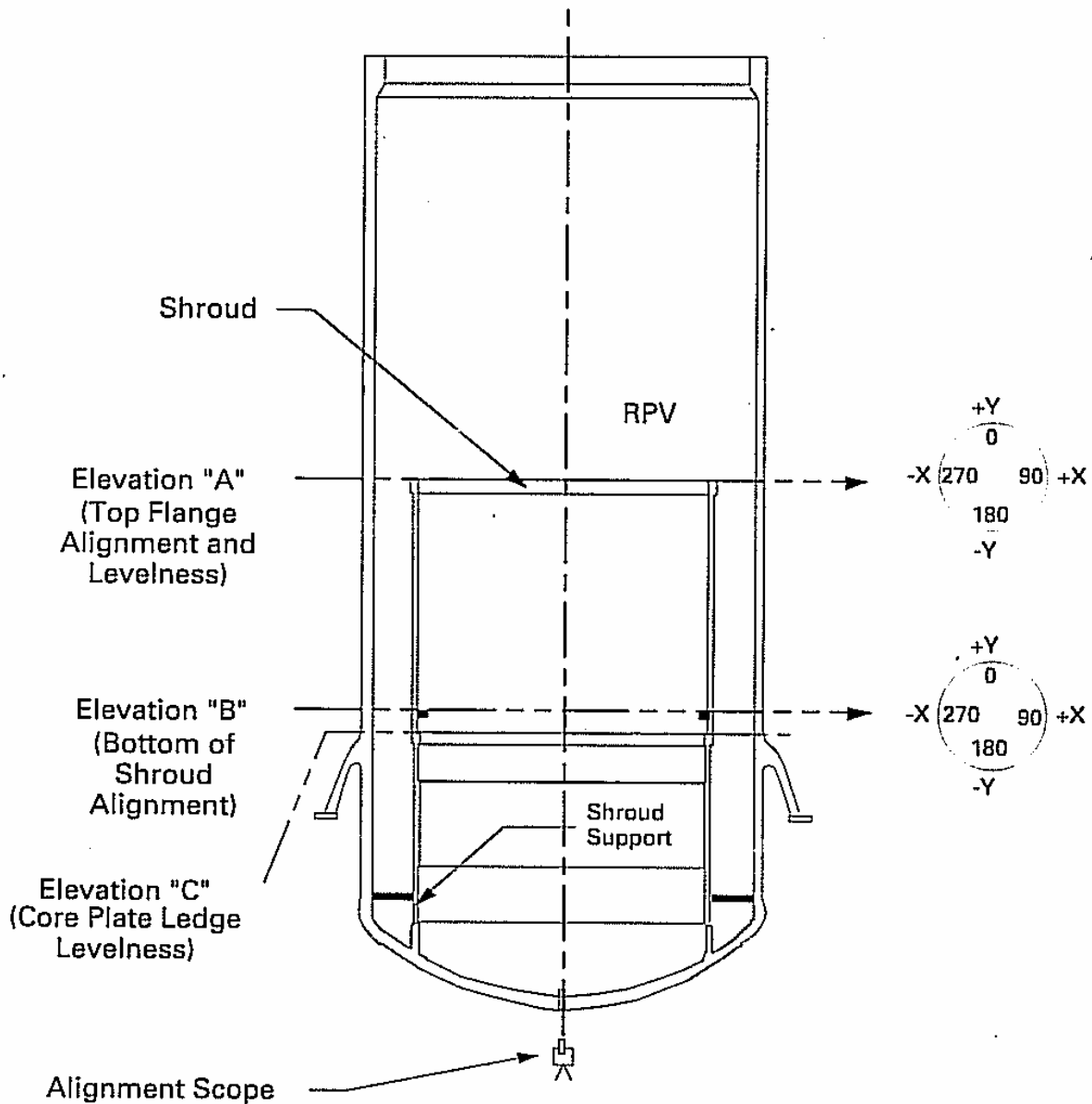
核能機組之興建，對本土人員乃數十年難得一見之工程，既難有工程經驗之累積，也不容易有所謂的標準程序書。許多施工規格本身就是個議題，例如：爐心底板 seismic pin 安裝方式，有最簡單的 tack weld，也有複雜的鑽孔後插銷再 tack weld 方式。更由於安裝工程的特殊性，其常常考驗品質視察者之工程判斷能力。因此，品質視察僅為先期的抽樣查證，將來設備的巨觀功能規格，仍應經由 RPV 整體的實際測試予以驗證。

初步接觸爐內組件視查案時，對於 CRDH/ICH 安裝規格之要求—即 RPV stud tube 與爐心底板之間，共 267 點圓心座標對心的精準度，感覺得相當嚴峻；且由於未曾詳細查閱相關 QRP 數據，早期對該項視查投以審慎的心態。經過 62 點 ICH 以及現階段 10 點 CRDH 之實證後，對爐心底板的製造品質，信心度大為提增。而 CRDH 焊接工作，除了既有的 mockup，又經過 NCR-NSS-702 施作過程缺失的模擬焊道鏟修後；對於日後繼續焊接的準備工作，應該算相當完備。

註：本報告限於篇幅，附件部分並未附上，如有任何疑問，請洽本會賴尚煜科長，
Tel：02-2232-2140

core plate ledge 水平度在不同施工階段之讀數				
azimuth	焊接前	第 1 層焊後	第 2 層焊後	第 3 層焊後
0°	+0.5	0	-0.5	-1
30°	+0.5	0	-0.5	0
60°	0	0	-0.5	-0.5
90°	0	0	-0.5	0
120°	+1	0	0	+1
150°	+1	+1	+1	+1
180°	+1	+1	0	+0.5
210°	0	0	0	0
240°	0	0	0	-0.5
270°	-0.5	0	+0.5	-0.5
300°	-0.5	0	-0.5	-1
330°	+0.5	0	-1	-1
相對 0 點	2867	3080	2895	925
附註：單位為 mm				

表 1、抽查爐心側板之 core plate ledge 在不同施工階段之水平度。
本表係參考附錄-A 測量數據所製。

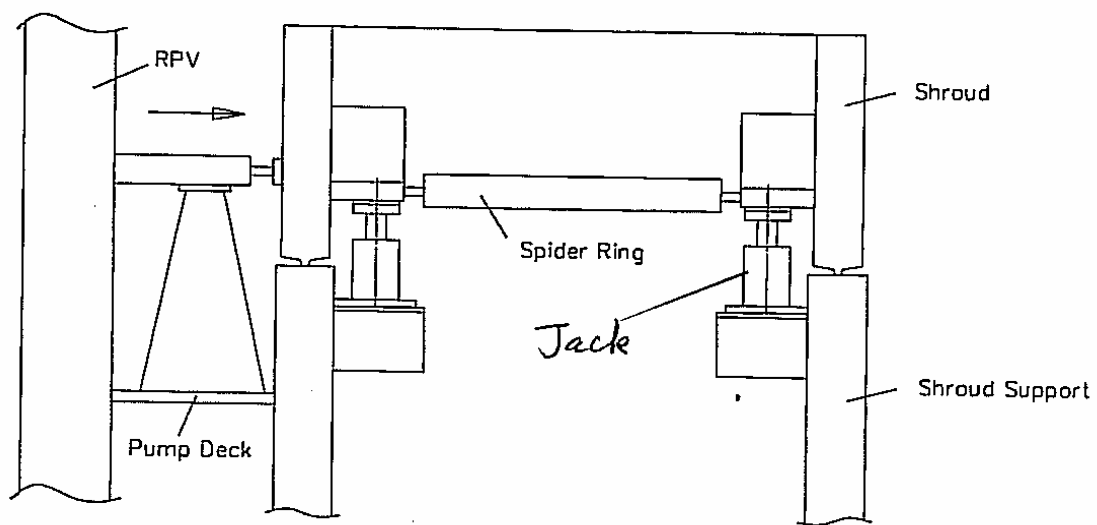


"Pre and Post" Shroud Welding Required Data

圖-1、RPV setting 後應留給爐心側板安裝之先決條件:RPV 上法蘭垂直度對心 $R=2.33\text{mm} \leq 7.5\text{mm}$, support ring 垂直度對心 $R=0.32\text{mm} \leq 0.6\text{mm}$; support ring 上表面水平度小於 2.3mm 。爐心側板安裝規格:側板上法蘭 level-A、側板 core plate ledge level-C 水平度 3.0mm , level-A、level-B 二個對心分別 $R \leq 1.6\text{mm}$ 。



圖-2、綠色設備為 96.02.06 所見，置於 support ring 臨時支撐上的千斤頂，圖上之環狀鋼樑為 spider ring，隱於其後有 shroud 之臨時支撐。棕色部分為 shroud，其下緣之亮紋為即將供焊接之倒 J-開槽。下圖為 shroud 安裝程序書 2902-71P-2066(NE)附件 -C 的對映施工圖。



Position of Horizontal Jack

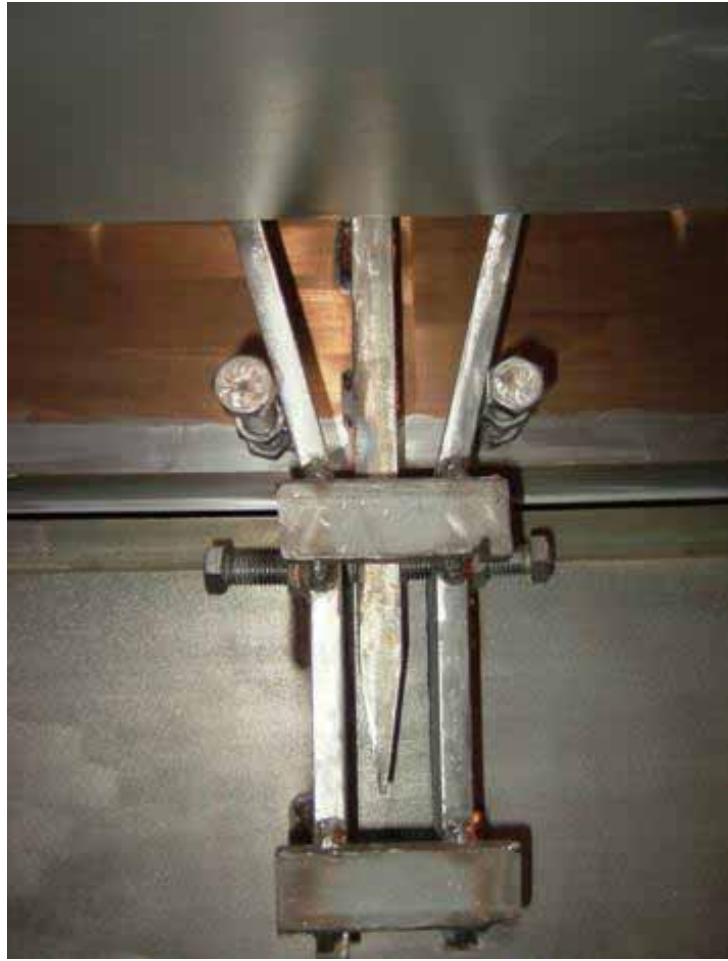
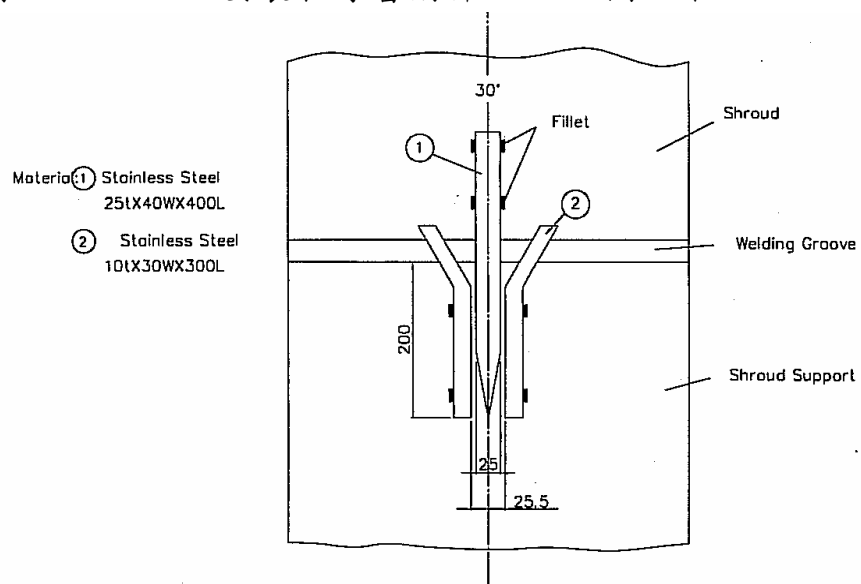


圖-3、用於吊裝 shroud 定位的導銷，以及焊在 support ring 上的定位孔；圖中的暗紋為 shroud 與 support ring 之間間隙。相對映之 Shroud 安裝程序書附件-C 施工圖如下。





Inspection Record — Reactor Vessel						Inspection date: 01/29/2007		
Estimated Accuracy	Elevation "C" (top of RPV flange) R=within 7.5 mm			Elevation "B" (shroud support ring) R=within 0.6 mm				
Reason	±X (mm)	±Y (mm)	$R=(X^2+Y^2)^{1/2}$	±X(mm)	±Y(mm)	$R=(X^2+Y^2)^{1/2}$		
5	1.2	-2	2.33	0.25	0.2	0.32		
azimuth	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Top of shroud support	0/ 548.2	0/ 548.2	0.3/ 547.9	1.4/ 546.8	2.2/ 546.0	2.9/ 545.3	2.2/ 546.0	1.2/ 547.0

Perpendicularity criteria : 3.0 (refer 105E2122)
 Reasons For Alignment Check (unit: mm)

- Initial Alignment
- Alignment after installation of last component which references plumb
- Alignment before adjustment due to earth settling
- Alignment after adjustment due to earth settling
- Other (explain)

Alignment check for RPV before installation of shroud

品管單位 QC Division			施工單位 Construction Division		
QA/QC 經理 QA/QC Manager	工地品管主任 Site QC Superintendent	品管工程師 QC Engineer	專案建造經理 Project const. Manager	工地建造主任 Site Const. Superintendent	建造工程師 Construction Engineer
1/29/07	59.1.07	01/29/2007	1/29/07	1/29/07	30/1/29/07

2902-R-0044 Rev.1

圖-4、爐心側板支撐環上表面之水平度數據。

Inspection Record — Shroud Alignment (1/7)															
SHROUD ALIGNMENT						Unit No.	#1								
Shroud Top Flange Elevation "A"			Shroud Bottom Elevation "B"			Record No.	H-1/7-6								
$(X^2+Y^2)^{1/2} \leq 1.6$			$(X^2+Y^2)^{1/2} \leq 1.6$			Remark									
Condition* (Enter below 1, 2, or 3)	$\pm X$	$\pm Y$	$(X^2+Y^2)^{1/2}$	$\pm X$	$\pm Y$			$(X^2+Y^2)^{1/2}$							
3	+1	+0.9	1.35	+0.4	+0	0.4	6 th finished, final (inside)								
Offset between RPV center line & shroud center line															
Shroud & Shroud support scribe lines match within 0.8						0°	<input checked="" type="checkbox"/> Accept <input type="checkbox"/> Un-accept								
						N/A	合格								
Unit : mm		Sketch As :		<table border="1"> <tr> <td>Equipment Name</td> <td>垂直儀</td> </tr> <tr> <td>Equipment I.D. NO.</td> <td>EQ-152</td> </tr> <tr> <td>Calibrated Date</td> <td>2007/01/17</td> </tr> <tr> <td>Calibration</td> <td>2007/07/16</td> </tr> </table>				Equipment Name	垂直儀	Equipment I.D. NO.	EQ-152	Calibrated Date	2007/01/17	Calibration	2007/07/16
Equipment Name	垂直儀														
Equipment I.D. NO.	EQ-152														
Calibrated Date	2007/01/17														
Calibration	2007/07/16														
<p>Shroud</p> <p>RPV</p> <p>Elevation "A" (Top Flange Alignment and Levelness)</p> <p>Elevation "B" (Bottom of Shroud Alignment)</p> <p>Elevation "C" (Core Plate Ledge Levelness)</p> <p>Shroud Support</p> <p>Alignment Scope</p> <p>*Pre and Post Shroud Welding Required Data</p>															
<p>*CONDITION OF SHROUD</p> <ol style="list-style-type: none"> Just prior to welding (excluding tack welds) Intermediate alignment checks After all welding is complete 															
品管單位 QC Division				施工單位 Construction Division											
QA/QC 經理 QA/QC Manager	工地品管主任 Site QC Superintendent	品管工程師 QC Engineer	專案建造經理 Project const. Manager	工地建造主任 Site Const. Superintendent	建造工程師 Construction Engineer										

2902-R-0045 Rev.2

圖-5、爐心側板在第 6 層焊接後所測得之 $r_A=1.35\text{mm}$ ， $r_B=0.4\text{mm}$ 。

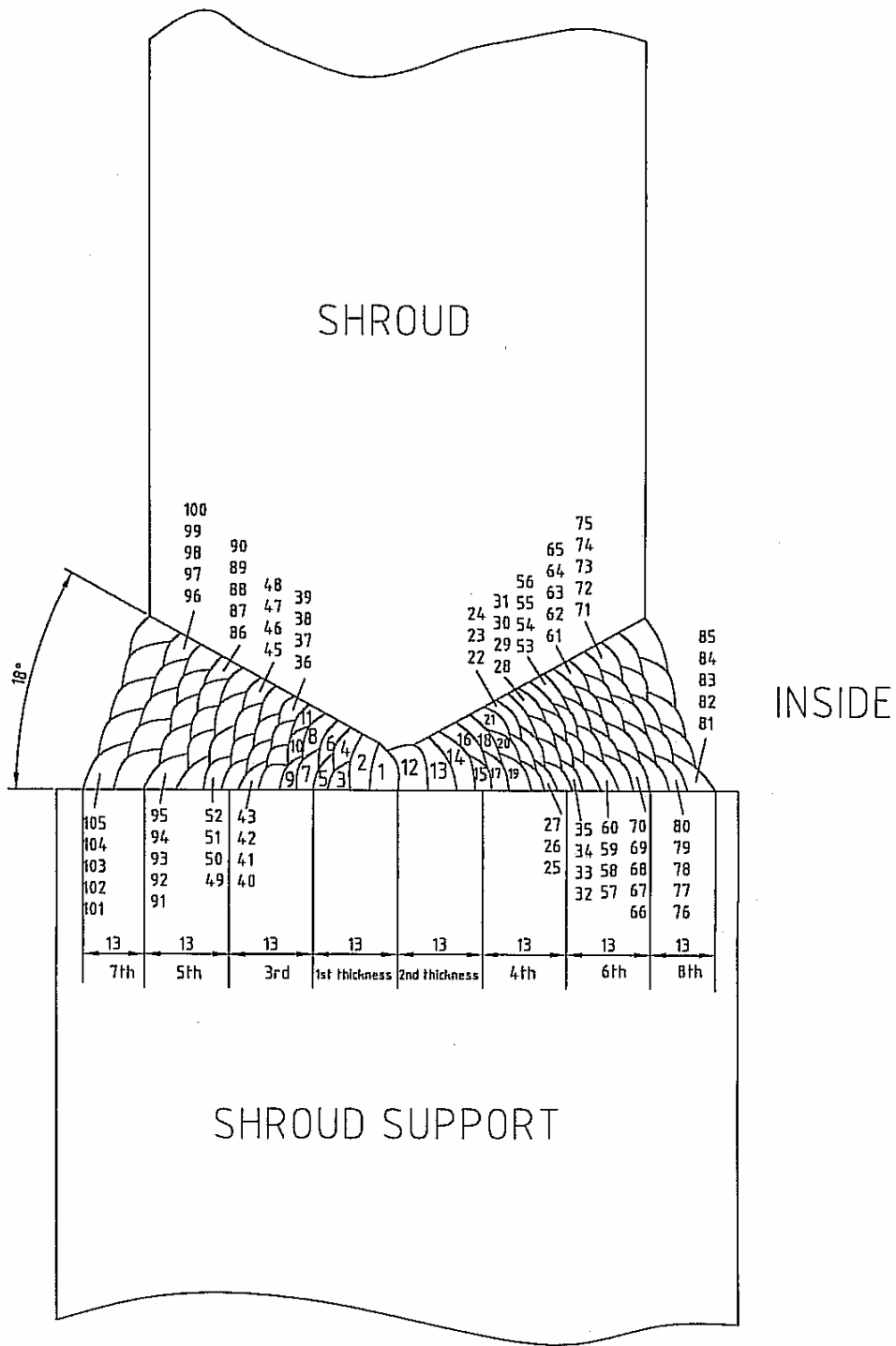


圖-6、爐心側鈹與側鈹支撐環計畫焊道示意圖，層次編號係施焊次序。
 右面反應器中心側稱為內側，依第 2、4、6、8 層順序施焊；左
 面為外側，依第 1、3、5、7 順序層施焊。



圖-7、爐心側板初安置進 RPV 之狀況；焊道在爐內高程約 2.4 米，即下層白色環狀處向外輻射之處。上層白色環狀處即為 core plate ledge；其上的穿透孔為供爐心底板螺栓孔，白色反光亮點為供爐心底板安裝 seismic pin 之處。



圖-8、左圖為外側第 3 層焊接完畢後，在 0° 附近執行第 2 次 NDE 現場；右圖為將自動電焊機移至 shroud 內側準備第 4 層焊接之場景。



圖-9、爐心底板在倉庫待運之場景。圖中棕色方塊為每個 CRGT 孔的保護罩，共有 205 個；短圓柱為 peripheral fuel support，共有 52 個；邊緣共有 81 個螺栓孔，另有 20 個定位銷孔無法從此角度看到；圖內右下角離開邊緣的孔研判應為 CP Δ P 孔。CRGT 孔保護罩之間可以看到 CRGT 的方向銷、ICGT 孔即位於其間；4 個 CRGT 局部的仰視圖如下。CRGT 保護罩之高度高於方向銷，以免施工過程之不必要碰撞。





圖-10、960419 爐心底板初吊入 RPV 爐內時之場景。本圖下面圓弧為 RPV upper flange 及螺栓孔，其高程約 17.7 米；上面中間日照縫者為 30°MFW Nozzle，其高程約 11.6 米，以及 10° SD outlet Nozzle，其高程約 10.9 米；圖中間圓圈為 shroud 上法蘭，高程約 9.3 米，正面工作人員左側法蘭面的凹槽即為 0° 位置；更內圈則為 core plate，將來定位後高程約 5.1 米，其詳細安裝相關數據如下：shroud 上法蘭內徑 5461mm、nominal 內徑 5490mm、core plate ledge 內徑 5269mm；core plate 外徑 5435mm。



圖-11、960419 早晨將爐內組件施工之清潔管制室吊離反應器廠房之場景。背景高塔為共同煙囪。



圖-12、960511 在爐內所見爐心底鈹安裝中的場景。照片上方為爐心底鈹之局部；中間方塊為臨時之 spacing block，圓柱為 seismic pin、與 eccentric sleeve；下方則為 shroud 之 core plate ledge。

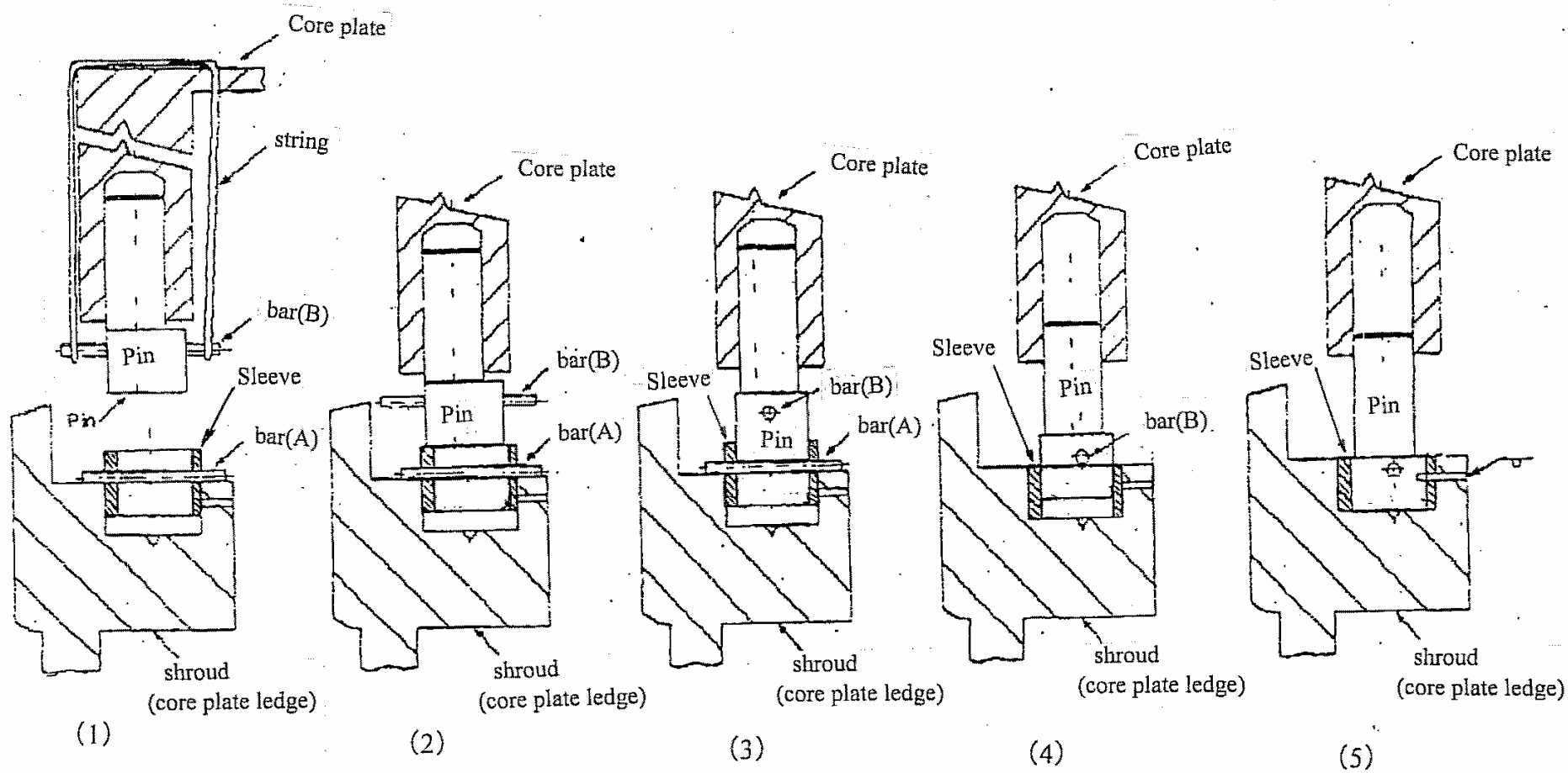


圖-13、安裝爐心底板時，定位銷與偏心套筒之調整過程。

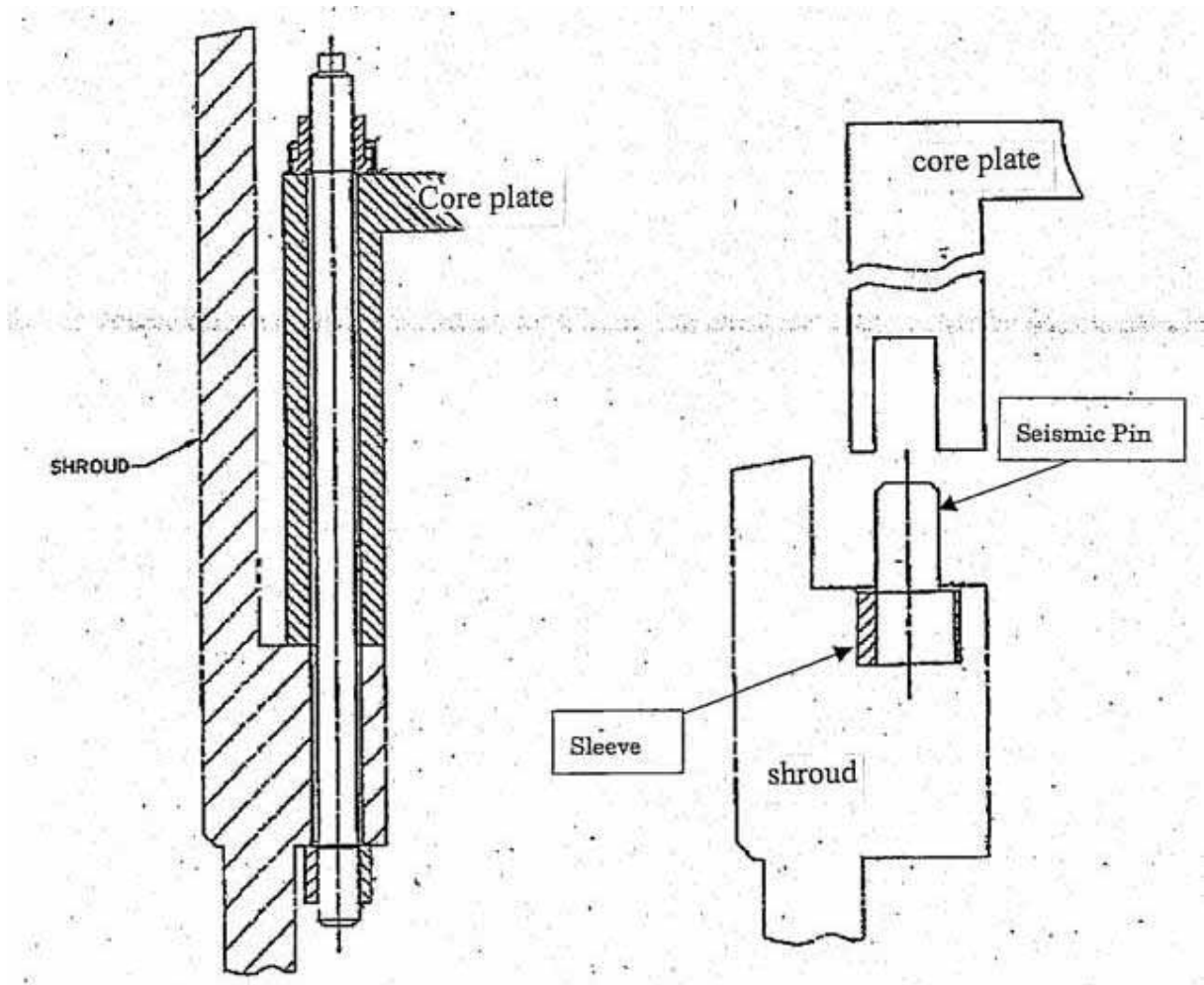


圖-14、爐心底板安裝過程中，主要包括 20 支定位銷 (seismic pin) 之安裝與 81 支螺栓鎖磅。圖示爐心側板為 core plate ledge 附近部分，右圖為定位銷、偏心套筒 eccentric sleeve 安裝到達定點的剖視圖；左圖為螺栓鎖磅成品剖視圖。右圖中 bolt 外徑 $\Phi 33.9\text{mm}$ 、hole 內徑 47.6mm 。左圖中定位銷上部 OD 41.28mm (core plate 對映孔 ID 42.9mm)、下部 OD 50.8mm 、偏心度 4.06mm ，偏心套筒 ID 50.95mm 、OD 66.73mm 、偏心度 4.06mm ，其橫斷面如附圖-12。

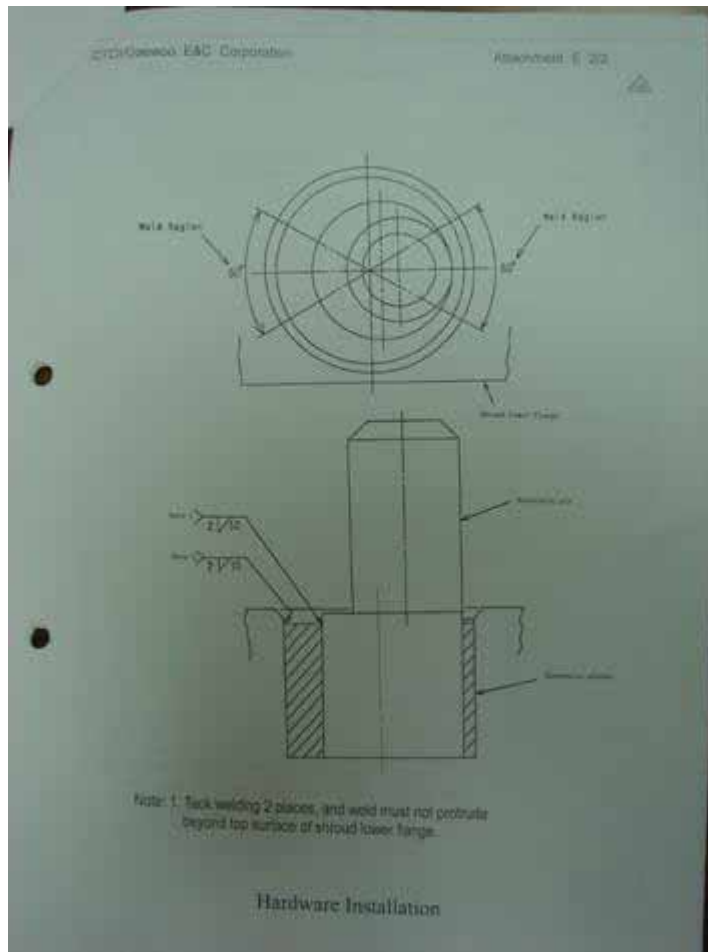
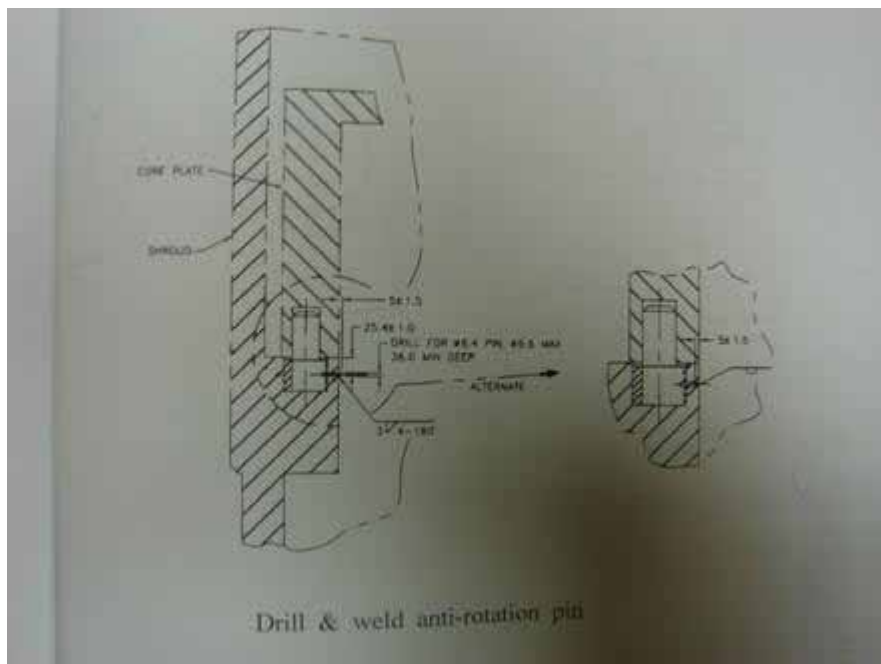
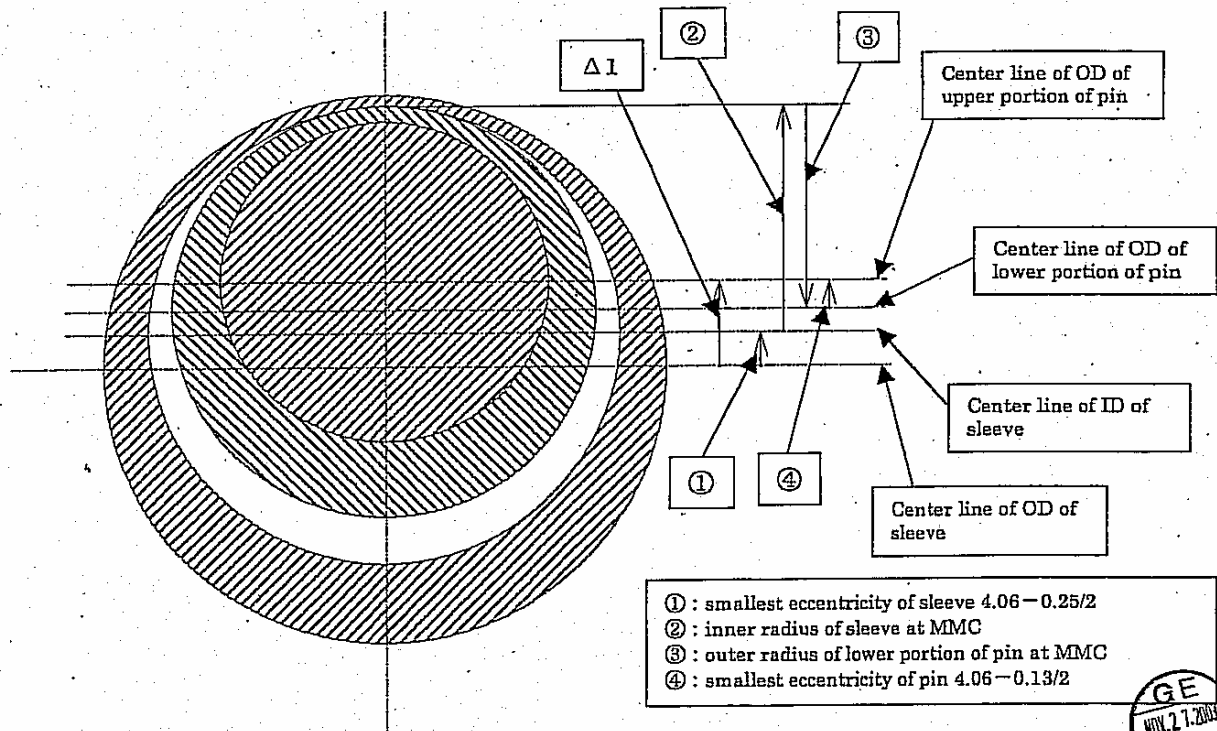


圖-15、爐心側板安裝過程，原版程序書所預定施工方式為從 shroud core plate ledge 處鑽孔並插入 anti-rotation pin 的做法，如下圖；現場改為 tack weld，如上圖。





$$\Delta 1 = ① + ② - ③ + ④ = (4.06 - 0.25/2) + (50.9/2) - (50.85/2) + (4.06 - 0.13/2) = 7.955.$$

Furthermore, there are gaps between sleeve and hole, 0.01 $(=(66.75 - (66.68 + 0.05))/2)$ at MMC) and between eccentric pin and core plate pin hole, 0.76 $(=(42.9 - (41.28 + 0.1))/2)$ at MMC), that produce further allowance, $\Delta 2 = 0.01 + 0.76 = 0.77$. The total adjusting allowance is $\Delta 1 + \Delta 2 = 8.725$ minimum.

S & W
W H O
NOV 28 2003

Reviewed
 Witnessed

IX - 2 - 21

附圖-16、摘錄爐心側板 QRP 之一節：Hitachi 致 GE 的評估報告，其預期 core plate 安裝時，定位銷孔的可調整容許度 (adjusting allowance) 可達 8.725mm。

Inspection Record — Core Plate					Unit No.	#1
CORE PLATE ALIGNMENT DATA CRD Master Holes & Center Hole Alignment					Record No.	G-1
Item No.	Hole Location	Initial align ±X	Final align ±X	Initial align ±Y	Final align ±Y	Note
Center Hole	X=0, Y=0	X=0.4		Y=0.4		
Master hole 1	X=2.08, Y=0.26	X=2.14		Y=0.01		
Master hole 2	X=-2.08, Y=-0.26	X=-1.89		Y=-0.29		

Tolerance for alignment : 0.4mm any direction

Note: 1.initial alignment means before stud tightening
 2. final alignment means after stud tightening
 3. Unit : mm

Azimuth	Initial C	Final C	Note
0°	27.5		
90°	29.5		
180°	28.5		
270°	27		

Inspection Result : Acceptable Reject

品管單位 QC Division			施工單位 Construction Division		
QA/QC 經理 QA/QC Manager	工地品管主任 Site QC Superintendent	品管工程師 QC Engineer	專案建造經理 Project const. Manager	工地建造主任 Site Const. Superintendent	建造工程師 Construction Engineer
					 8/21/07

2902-R-0053 Rev.2

圖-17、螺栓鎖磅前爐心底板 CRGT 孔與 RPV 爐底短管孔，其 master hole 對心測量值。

Core Plate 會驗紀錄(一)							Unit No.	1 號機
CORE PLATE ALIGNMENT DATA CRD Master Holes Alignment							date	97.6.14
Item No.	Hole Location	Design align ±X	Final align ±X	ΔX	Design Align ±Y	Final align ±Y	ΔY	Tolerance $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$
Master hole 1	39 - 66	+2.08	+2.15	0.07	+0.26	+0.03	0.23	0.24
Master hole 2	02 - 31	-2.08	-1.75	0.33	-0.26	-0.34	0.08	0.34

Tolerance for alignment : 0.4mm any direction

Inspection Result : Acceptable

台電公司	中鼎公司
<i>(Handwritten signatures)</i>	<i>(Handwritten signatures)</i> 06/15/007

圖-18、螺栓鎖磅後爐心底鈹 CRGT 孔與 RPV 爐底短管孔，其 master hole 對心測量值。

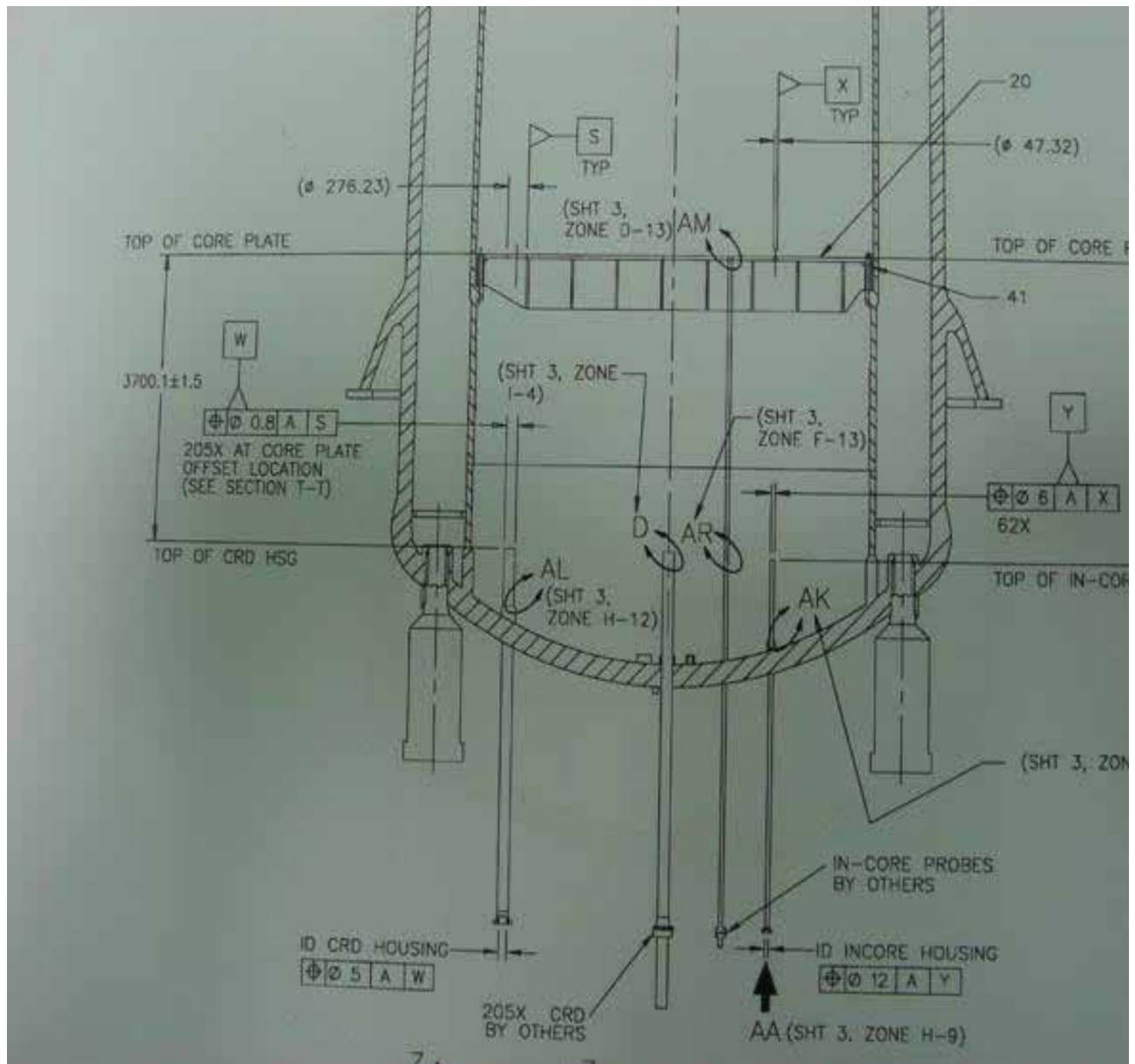


圖-19、CRDH 安裝規格：頂端與爐心底板距離 3700mm，中心線與 CRGT 孔中心線維持 $\phi 0.8\text{mm}$ (temperature offset 後)；底部 CRDH 法蘭中心線與頂端中心線維持 $\phi 5.0\text{mm}$ 。ICH 安裝規格：頂端與爐心底板距離 3793mm，中心線與 ICGT 孔中心線維持 $\phi 6.0\text{mm}$ ；；底部 ICH 法蘭中心線與頂端中心線維持 $\phi 12.0\text{mm}$ 。



圖-20、上圖為 Incore housing 在工廠拆裝準備情形；下圖為 960626 焊接過程，正在進行階段性液滲非破壞性檢測（PLP-NDE）。



圖-21、960810 爐內 CRDH 安裝狀況：上圖為 CRDH 02-35 在完成 9mm 銲道厚度後的場景，右下角為已經完成銲接的 ICH；下圖右邊為已完成全部銲程並通過 Go-guage 的 CRDH 34-35，左邊為完成 9mm 厚之 CRDH 30-35，十字形膠布中間的圓孔為 RWCU 爐底洩水孔。

附錄 A : Core plate ledge 水平度數據

下列第一個數據表為第 1 層焊接前/後、第二個數據表為第 2 層焊接後、第三個數據表為第 3 層焊接後等，台電所提供數據。

Inspection Record — Shroud Alignment (4/7)			
CORE PLATE LEDGE "LEVEL" READINGS (Elevation C)		Unit No.	#1
		Record No.	H-4/7-1
Azimuth	Before Welding	After Welding (1 st 13mm finished, outside)	
0°	2867.5 (+0.5)	3080 (0)	
30°	2867.5 (+0.5)	3080 (0)	
60°	2867 (0)	3080 (0)	
90°	2867 (0)	3080 (0)	
120°	2868 (+1)	3080 (0)	
150°	2868 (+1)	3081 (+1)	
180°	2868 (+1)	3081 (+1)	
210°	2867 (0)	3080 (0)	
240°	2867 (0)	3080 (0)	
270°	2866.5 (-0.5)	3080 (0)	
300°	2866.5 (-0.5)	3080 (0)	
330°	2867.5 (+0.5)	3080 (0)	

Sketch As:

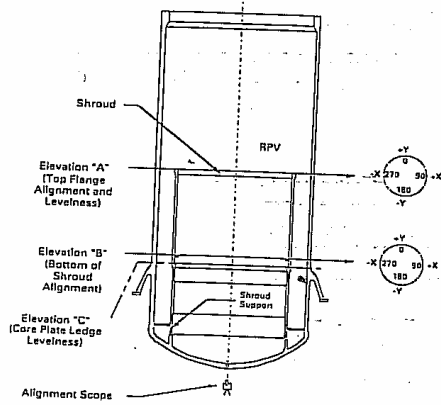
"Pre and Post" Shroud Welding Required Data

品管單位 QC Division			施工單位 Construction Division		
QA/QC 經理 QA/QC Manager	工地品管主任 Site QC Superintendent	品管工程師 QC Engineer	專案建造經理 Project const. Manager	工地建造主任 Site Const. Superintendent	建造工程師 Construction Engineer
中鼎公司 96.2.9 蕭昇應	蕭昇應 2/9/07	陳芳雄 02/09/2007	中鼎公司 96.2.9 陳芳雄	楊 2/9/07	楊 2/9/07

Inspection Record — Shroud Alignment (4/7)

CORE PLATE LEDGE "LEVEL" READINGS (Elevation C)		Unit No.	#1
		Record No.	H-4/7-2
Azimuth	Before Welding	After Welding (2 nd 13mm finished, inside)	
0°	N/A	2894.5 (-0.5)	
30°	N/A	2894.5 (-0.5)	
60°	N/A	2894.5 (-0.5)	
90°	N/A	2894.5 (-0.5)	
120°	N/A	2895 (0)	
150°	N/A	2896 (+1)	
180°	N/A	2895 (0)	
210°	N/A	2895 (0)	
240°	N/A	2895 (0)	
270°	N/A	2895.5 (+0.5)	
300°	N/A	2894.5 (-0.5)	
330°	N/A	2894 (-1)	

Sketch As:



"Pre and Post" Shroud Welding Required Data

品管單位 QC Division			施工單位 Construction Division		
QA/QC 經理 QA/QC Manager	工地品管主任 Site QC Superintendent	品管工程師 QC Engineer	專案建造經理 Project Const. Manager	工地建造主任 Site Const. Superintendent	建造工程師 Construction Engineer
		 03/15/2007	 3/15/07	 3/15/07	 3/15/07

2902-R-0048 Rev.1

Inspection Record — Shroud Alignment (4/7)			
CORE PLATE LEDGE "LEVEL" READINGS (Elevation C)		Unit No.	#1
		Record No.	H-4/7-3
Azimuth	Before Welding	After Welding (3 rd 13mm finished, outside)	
0°	N/A	924 (-1)	
30°	N/A	925 (0)	
60°	N/A	924.5 (-0.5)	
90°	N/A	925 (0)	
120°	N/A	926 (+1)	
150°	N/A	926 (+1)	
180°	N/A	925.5 (+0.5)	
210°	N/A	925 (0)	
240°	N/A	924.5 (-0.5)	
270°	N/A	924.5 (-0.5)	
300°	N/A	924 (-1)	
330°	N/A	924 (-1)	

Sketch As:

Pre and Post Shroud Welding Required Data

品管單位 QC Division			施工單位 Construction Division		
QA/QC 經理 QA/QC Manager	工地品管主任 Site OC Superintendent	品管工程師 QC Engineer	專案建造經理 Project const. Manager	工地建造主任 Site Const. Superintendent	建造工程師 Construction Engineer
		 3/20/07	 3/20/07	 3/20/07	 3/20/07

2902-R-0048 Rev.1

附錄 B：CRDH 與爐心底板 CRGT 孔對心數據

下列第一頁數據表為第 CRDH tip、第二頁數據表為第 CRDH flange 的對心數據。

CRD Housing Installation Record										Unit No.	Unit 1
										Report No.	CRD-001
Item No.	X-Y Coordinates	Housing Serial Number	Alignment for Top								
			Standard Value (X/Y) (1)		Before Welding Actual Value (X/Y)		After Welding Actual Value (X/Y)		會驗值		
			X	Y	x	Y	x	Y	x	Y	
WC041	18,35	X143	-1.04	0.00	-0.90	-0.05	-1.10	0.00	-1.03	-0.01	
WC070	26,35	X211	-0.52	0.00	-0.39	-0.04	-0.50	-0.02	-0.68	0.01	
WC103	34,35	X215	0.00	0.00	-0.40	0.35	-0.04	0.35	-0.07	0.34	
WC136	42,35	X214	0.52	0.00	0.76	0.00	0.54	0.09	0.28	-0.24	
WC165	50,35	X052	1.04	0.00	1.07	-0.03	1.28	-0.18	1.07	0.01	

CRD Housing Installation Record										Unit No.	Unit 1
										Report No.	CRD-003
Item No.	X-Y Coordinates	Housing Serial Number	Alignment for Top								
			Standard Value (X/Y) (1)		Before Welding Actual Value (X/Y)		After Welding Actual Value (X/Y)		會驗值		
			X	Y	x	Y	x	Y	x	Y	
WC002	02,35	X102	-2.08	0.00	-2.27	0.01	-2.09	0.21	-2.09	0.22	
WC028	14,35	X181	-1.30	0.00	-1.04	0.01	-1.34	-0.20	-1.34	-0.2	
WC086	30,35	X176	-0.26	0.00	-0.22	0.00	-0.10	0.01	-0.10	0.01	
WC151	46,35	X218	0.78	0.00	0.90	-0.20	0.83	0.00	0.83	0.00	
WC199	62,35	X186	1.82	0.00	2.03	-0.15	2.00	0.13	2.00	0.14	

CRD Housing Installation Record								Unit No.	Unit 1	
								Report No.	CRD-001	
Item No.	X-Y Coordinates (1)	Housing Serial Number	Alignment for Bottom							
			Standard Value (X/Y) (2)		Before Welding Actual Value (X/Y)		After Welding Actual Value (X/Y)		會驗值	
			X	Y	x	Y	x	Y	x	Y
WC041	18,35	X143	-1.04	0.00	-1.85	0.04	-2.17	0.32	-2.48	-0.73
WC070	26,35	X211	-0.52	0.00	0.08	-0.30	-0.15	-0.56	-0.20	-0.59
WC103	34,35	X215	0.00	0.00	-0.02	0.15	-0.12	-0.20	-0.15	-0.26
WC136	42,35	X214	0.52	0.00	0.36	0.05	1.05	0.24	1.06	0.21
WC165	50,35	X052	1.04	0.00	0.87	0.52	1.00	-0.88	1.04	-0.98

CRD Housing Installation Record								Unit No.	Unit 1	
								Report No.	CRD-003	
Item No.	X-Y Coordinates (1)	Housing Serial Number	Alignment for Bottom							
			Standard Value (X/Y) (2)		Before Welding Actual Value (X/Y)		After Welding Actual Value (X/Y)		會驗值	
			X	Y	x	Y	x	Y	x	Y
WC002	02,35	X102	-2.08	0.00	-1.50	0.64	-1.50	2.09	-1.50	2.09
WC028	14,35	X181	-1.30	0.00	0.00	-0.35	-0.61	-0.97	-0.62	-0.97
WC086	30,35	X176	-0.26	0.00	0.00	0.36	0.00	0.41	0.00	0.42
WC151	46,35	X218	0.78	0.00	1.07	0.00	1.56	-0.72	1.56	-0.72
WC199	62,35	X186	1.82	0.00	1.26	0.35	1.37	0.75	1.37	0.75