

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

多週期設計分析實習

服務機關：台灣電力公司 燃料處

姓名職稱：張志豪 (117426) 核能工程師

派赴國家：美國

出國期間：102年4月8日至102年5月22日

報告日期：102年7月16日

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

多週期設計分析實習

服務機關：台灣電力公司 燃料處

姓名職稱：張志豪 (117426) 核能工程師

派赴國家：美國

出國期間：102年4月8日至102年5月22日

報告日期：102年7月16日

目 錄

圖目錄	ii
表目錄	iii
壹、 出國緣起與任務	1
貳、 行程紀要	2
參、 多週期設計分析技術實習	3
一、 爐心填換設計流程及介面	3
二、 多週期設計分析程式集介紹	6
三、 多週期設計分析流程	10
四、 爐心佈局設計策略	36
五、 文件編寫及分析結果驗證	40
肆、 核燃料製造服務流程觀摩	41
一、 製造服務相關設施及品質管理	41
二、 製造服務訂購流程及相關文件	43
三、 製造服務加工流程介紹	47
伍、 實習成果	57
陸、 心得與建議事項	58
附件資料	60
參考資料	60

圖目錄

圖 1、程式集相互介面連結及流程圖	9
圖 2、多週期設計分析流程圖	16
圖 3、燃料位置及挪移資料 (C-SHUFM).....	17
圖 4、徑向節點燃料營運模擬資料 (C-FM).....	18
圖 5、燃料束平均燃耗資料 (C-BU).....	19
圖 6、燃料束內最高針尖燃耗 (C-PMX).....	20
圖 7、燃料平均能量及 $F\Delta H$ 熱限值 (C-FDH).....	21
圖 8、ANC程式識別之燃料束編號 (C-AID).....	22
圖 9、實際燃料束編號 (C-IDS).....	23
圖 10、西屋公司核燃料製造訂單通知流程圖	45
圖 11、西屋公司美國哥倫比亞廠辦公區及製造廠房相對位置圖	50
圖 12、西屋公司美國哥倫比亞製造廠房示意圖	51
圖 13、西屋公司核燃料製造服務加工流程圖	52
圖 14、西屋公司製造服務濃縮鈾轉化為二氧化鈾粉末流程圖	53
圖 15、燃料棒元件組成	54
圖 16、燃料束元件組成	55
圖 17、本公司採用之PWR核燃料元件結構尺寸	56

表目錄

表 1、反應度排序資料 (E-IDFA).....	24
表 2、燃料佈局及批次組成資料 (FUELPAT & REGCOMP).....	25
表 3、ANC模擬結果彙總 (E-SUM).....	26
表 4、爐心能量需求及運轉資料 (E-COR).....	27
表 5、燃料批次資料 (E-REG).....	28
表 6、燃料束分群資料 (E-GRP).....	29
表 7、各週期預計填換燃料使用數量明細.....	34
表 8、MS2CY23 多週期設計分析報告資料彙整.....	35
表 9、西屋公司核燃料相關設施列表.....	42
表 10、本公司採用之PWR核燃料製造規格表.....	46

壹、 出國緣起與任務

核燃料循環自鈾礦開採、精鍊、轉化、濃縮、製造之前端(front end)作業，至用過核燃料再處理或中期貯存、最終處置等後端(back end)作業，其目的都是為了核燃料在反應器爐心營運，因此核燃料採購的優劣，尤其是核燃料製造部分，更為決定機組能否穩定、安全運轉，燃料是否達到最大效益的關鍵。

多週期設計分析即為預估未來數週期之爐心燃料使用規劃，並作為核燃料製造時，訂購設計週期所需填換燃料型式及數量之參考，由於多週期設計分析技術屬核燃料製造之最前端及核心技術，且此專業均掌握在核燃料製造供應廠家之手，故為能適時、適量、適質供應核能機組所需之製成燃料元件，實有必要瞭解各核燃料製造廠家之多週期設計分析技術，並建立及發展本公司查驗相關分析結果與獨立自主設計之能力。此外，為因應我國既有核能機組運轉 40 年不延役之新能源政策，核燃料營運更趨複雜，尤其是機組除役前最後數週期之多週期設計與核心營運策略，更需進一步研究與分析比較，以進行最有利之燃料佈局、爐心填換設計及運轉策略之選擇。

為此，本公司前已於 101 年派員前往 AREVA NP 公司，即目前提供核一廠、核二廠填換核燃料之製造服務供應廠家，實習 BWR 燃料之多週期設計分析技術，已有初步之成果，除瞭解多週期設計分析技術外，並學習程式集 CASMO 4/MICROBURN B2 之使用及實務應用。

此次則再前往 WH 公司於賓夕法尼亞州之匹茲堡總部進行 PWR 燃料之多週期設計分析實習，並前往該公司於南卡羅來納州之哥倫比亞製造廠，觀摩 PWR 燃料多週期設計分析後之實際製造流程，以獲得核燃料佈局設計至製造階段，相關流程及各部門介面之完整概念。

貳、行程紀要

時間	工作內容
4/8~4/9	往程：台北—匹茲堡
4/10~5/12	學習多週期設計分析專業技術
5/13	行程：匹茲堡—哥倫比亞
5/14~5/17	觀摩核燃料實際製造流程
5/18~5/20	返程：哥倫比亞—台北
5/20~5/22	因航班取消延後 2 日返台

註：原訂行程應於 5/20 回國，但返程途中因遇航班取消，致後續行程延誤，請航空公司協助最快時間返台，惟最終仍較原訂行程延後 2 日，並於回國後簽准變更出國行程。

參、多週期設計分析技術實習

核三廠核能機組填換燃料之採購，係西屋公司依據本公司於採購需求時機組運轉現況、預估未來週期之能量需求，並遵循各項運轉限制及爐心營運要求，進行該批次填換燃料多週期設計分析，以評估最佳之燃料需求建議，作為本公司採購燃料數量及型式之參考。

實際使用時，將再由西屋公司於大修填換前進行下一週期運轉之爐心填換設計，以確保機組運轉之安全、可靠性及燃料使用之經濟性，此時將對當下現有之庫存燃料作最佳調配使用，因此多週期設計分析可視作在訂購燃料時，預先對於該填換批次在未來數週期進行爐心填換設計初步規劃，並保留因應機組變化之運轉彈性等綜合考量下，對於燃料營運之最佳化選擇。

目前西屋公司核燃料核心設計部門，係位於該公司設置在美國賓夕法尼亞州的西屋公司總部，距離匹茲堡(Pittsburgh)西北北方約 20 英里的蔓越莓鄉(Cranberry Township)，有關多週期設計分析及爐心填換設計均於此進行，以下即就在西屋公司總部有關多週期設計分析及相關文件研讀的實習過程進行說明。

一、爐心填換設計流程及介面

西屋公司每週期針對燃料使用之爐心設計著重於安全性、運轉可靠性及經濟性作考量，概觀爐心填換設計流程共分 Design Initialization (設計初始階段)、Loading Pattern (爐心佈局階段)、Reload Safety Analysis Checklist (RSAC) (安全分析條件設定)、Nuclear Design Report (NDR) (核心設計報告)、Plant Startup (電廠起動測試階段)、Reactor Follow (爐心運轉追蹤監控)。

- (一) 設計初始階段：整個爐心填換設計的開始，需要調查前週期機組狀況，並確認設計週期參數，所需參考資料有：設計介面文件 (Design Interface Document, DID)、安全及執照分析查核表(Reload Safety and Licensing Checklist, RS&LC)、填換時程及能量需求

(Reload Schedule and Energy Requirements, RSER)、填換初始調查表(Reload Initialization Questionnaire, RIQ)、最終安全分析報告(Final Safety Analysis Report, FSAR)、電廠運轉技術規範(Technical Specifications, TECH. SPECS.)等。

除了與客戶端進行爐心設計起動前會議(Core Design Meeting, CDM or kick-off meeting)外，西屋公司亦將於內部召集核心設計部門(Nuclear Design, ND)、工程專案經理(Engineering Project Manager, EPM)、客戶專案經理(Customer Project Manager, CPM)、安全分析部門群：暫態分析、反應器失水事故分析、圍阻體及放射學分析(Safety Analysis Groups: Transient Analysis, TA、Loss of Coolant Analysis, LOCA、Containment and Radiological Analysis, CRA)、熱水力部門(Thermal Hydraulics, T/H)、燃料設計部門(Fuel Rod Design, FRD)、製造廠(Columbia)、機械設計部門(Mechanical Design)、BEACON (Best Estimate Analyzer Core Operations Nuclear)、流力系統(Fluid Systems)等召開相關設計初始會議，目的在資訊交流及意見溝通。

- (二) 爐心佈局階段：爐心佈局係燃料營運之一環，包含爐心燃料位置、批次燃料數量、填換燃料濃縮度、可燃毒物選擇以及燃料型式組成等。基本上根據合約可由客戶端決定或西屋公司進行，而目前本公司爐心佈局仍經由西屋公司負責，每次燃料訂購前進行多週期分析設計產生之爐心填換計畫(Core Loading Plan, CLP) 將送交本公司審查，決定訂購燃料型式後轉交 Columbia 製造廠進行燃料製造，實際填換前則再由西屋公司進行檢討 CLP，並由本公司委託核研所平行驗證。

進行爐心佈局的同時，需考慮燃料設計(FRD)分析，考慮前週期(N-1)填換佈局風險評估>Loading Pattern Risk Assessment, LPRA)、爐心設計(Core Design)結果、熱水力(T/H)資料(包含 DNBR 偏離核沸騰比、AO 軸向偏離、 $F \Delta H$ 熱限值等)，以執行燃料評

估(ANC Limiting Fuel Rod Evaluation for Design, ALFRED)，建立燃料週期歷史資料以作為設計週期模擬計算之初始資料。

Columbia 製造廠收到 CLP 後，主要工作即為依據指定燃料型式進行燃料製造，並提供使用材料清單(Bill of Material Checklist)給客戶，完成後實際生產之燃料濃縮度資料將送回 Design Verification List, DEVL 作確認，濃縮鈾數量亦將由合約部門作清償。

- (三) 安全分析條件設定：透過安全分析部門群 TA、LOCA、CRA 等，評估現有爐心狀態於設計內之運轉條件下進行暫態及事故分析，以決定爐心設計之安全分析邊界條件，並留有餘裕(margin)，避免實際運轉時發生相同之暫態或事故。核心設計部門完成爐心設計後再由安全分析部門確認，並填發填換安全評估報告(Reload Safety Evaluation, RSE)及爐心運轉限值報告(Core Operating Limits Report, COLR)予客戶端。
- (四) 核心設計報告：安全分析條件設定後將再對爐心設計進行運轉中週期(N-1)退出燃耗之最佳燃耗估算(best estimate burnup)，係以 ANC 程式集執行特定週期的 NDR 模型模擬計算，並提供各式圖表等安全運轉相關資訊作為電廠運轉人員之參考依據。
- (五) 電廠起動測試階段：採用 NDR 報告附錄 A 進行起動測試（包含臨界硼酸濃度、等溫係數 ITC--Isothermal Temperature Coefficient、中子能譜、反應度差異、控制棒本領測量等）。
- (六) 反應器爐心追蹤監測：利用爐蓋上方熱電偶(thermocouples)及爐內核儀(thimble guide tube)測量，並透過 BEACON-DMM (Direct Margin Monitor)進行即時爐心監控。

總括而言，設計介面涉及核心設計部門、熱水力分析部門、燃料設計部門、安全分析部門、流力分析部門、核工運轉部門、產品工程部門、燃料製造廠，以及身為顧客端的本公司，涵蓋層面之廣可見一斑。

西屋公司同時依照本公司要求之填換時程及能量需求(RSER)、安全及執照分析查核表(RS&LC)、爐心設計指引(Core Design Guidelines)、安全分析限值(RSAC Limits)及流力邊界條件(BORDER Confirmation)等資料，依序完成填換佈局及風險評估(LPRA)、爐心填換計畫(CLP)、安全分析(RSAC)、安全評估(RSE)、爐心運轉限制(COLR)、核設計報告(NDR)、BEACON Model 爐心運轉監控模型及 DRWM/SRWM 起動測試支援等報告提供予本公司作為爐心營運之參考，方能確保設計週期之爐心燃料符合運轉條件並達到最大之效益。

註：參考西屋公司內部訓練資料 NE-221 – PWR Reload Process & Internal Interfaces _ Foundation Training

二、多週期設計分析程式集介紹

西屋公司多週期分析程式集主要分為兩部分，產生爐心佈局的 ALPS (Advanced Loading Pattern Search)，以及模擬中子遷移計算的 APA (ALPHA/ PHOENIX-P/ ANC) 核心設計系統，兩者間以 ALAMO (Automated Linkage of ANC Modeling Operations) 作介面連結，完成之模擬計算結果，最後再以 ANCHOR (ANC Checker)作驗證，分別將各諸元介紹如下：

- (一) ALPS (Advanced Loading Pattern Search) 為進階燃料填換佈局搜尋程式，可將前一週期(Cycle N-1)爐心狀況及燃料資料以 ALAMO 帶入，設定設計週期(Cycle N)之運轉週期長度及能量需求後，可粗估燃料型式及預計填換數量，併前一週期退出且計劃回填之用過燃料，依反應度及燃耗狀況填入爐心，產生佈局結果供後續計算。
- (二) APA (ALPHA/ PHOENIX-P/ ANC) 核心設計系統係依據反應器物理特性進行中子平衡方程(neutron balance equations)計算，分別由 ALPHA、PHOENIX-P 及 ANC 等 3 個程式構成，可遵循中子遷移

理論(transport theory)，以 ENDF/B-VI 截面資料庫進行多能群(multi-energy group)的晶格計算，獲得中子截面後再導入 2 個能量分群(two energy groups)的三維 ANC 計算中。

1. ALPHA (Automated Linkage PHOENIX-P and ANC) 主要作為 PHOENIX-P 及 ANC 程式間之介面程式碼，透過輸入燃料幾何及材料資料、熱水力資料、週期燃耗初始值，建立爐心燃料模型(單一燃料束及反射體)資料後，執行 PHOENIX-P 產生所需之中子反應截面資料供 ANC 作節點計算。

在執行 ALPHA 程式前，必須先將前述 ALPS 之燃料佈局結果帶入 ALAMO，產生 ALPHA 輸入檔(alpha.i)，以利 PHOENIX-P 執行並該燃料佈局之中子截面資料(*.xsec)。

2. PHOENIX-P 係二維多能群中子遷移計算程式碼，採用 70 個能群(70 energy-group)的 ENDF/B-VI 反應截面資料庫，輸入燃料及爐心資料(燃料丸、護套、緩和劑等材質尺寸及密度等)後，依據不同能量之中子通率及碰撞機率，求出各節點的 70 個能群的中子通率，再以標準 4 階離散縱座標計算法(standard S4 discrete ordinates calculation)，將中子能譜折疊(fold)成二能群(coarse energy-group)，對各節點作歸一化(normalize)後，計算出相對之各節點二能群中子通率，進而反推二能群之中子反應截面。
3. ANC (Advanced Nodal Code) 為進階節點模擬計算程式，利用節點展開法(nodal expansion method)來解二能群擴散方程(two-group diffusion equations)，以四階多項式展開(fourth order polynomial expansions)表示各節點 X、Y 及 Z 軸之中子通率資料，透過離散模型修正中子反應截面，並使用針尖能量重建法(pin-power recovery)，將求解得出之離散模型針尖能量資料(pin power information)作各節點之平均能量計算。以計算燃料棒針尖因數(pin factor)供 ANC 作燃耗計算

有關燃料批次組成(regcomp)及燃料佈局(fuelpat)資料，需先透過 ALAMO 設定爐心幾何資料（如燃料挪移、可燃毒物佈局及邊界條件等）並帶入 ALPS 佈局結果，以轉換為 ANC 所需之輸入檔(anc.i)。另 ALPHA 執行 PHOENIX-P 後產生之中子截面資料(*.xsec)，以及 ALPHA 產生之針尖因數資料(pin factor file)亦將提供 ANC 作針尖能量重建及針尖燃耗計算使用。

“ANC - A Westinghouse Advanced Nodal Computer Code” (ANC), WCAP-10965-P-A 及 “Qualification of the PHOENIX-P/ ANC Nuclear Design System for Pressurized Water Reactors ” (PHOENIX-P/ ANC), WCAP-11596-P-A 分別於 1986/6/23 及 1988/5/17 獲 NRC 核准使用。

- (三) ALAMO (Automated Linkage of ANC Modeling Operations) 該程式進行爐心填換設計時，包含 alamo2alps、alamo2alpha、alamo2anc 等步驟，主要功能在作為各階段程式間之介面，大幅簡化且以使用者最少定義狀態下，自動產生各階段程式所需模型並分析完成之模型結構。

ALAMO 提供了完整的 ALPHA 輸入檔以執行 PHOENIX-P，同時提供相對應的填換佈局資料作為 ANC 輸入檔，並維持 ALPHA 及 ANC 程式間，各項燃料佈局、燃耗計算模型及燃料使用資料之一致性。ALAMO 最主要的功能，可將 ALPS 的填換佈局結果帶入進行 ALPHA、ANC 等程式，以及在燃料佈局執行完成後作為查證結果之用。

- (四) ANCHOR (ANC Checker) 作為 ANC 執行結果的驗證之用，確認節點燃耗、燃料編號、可燃毒物佈局、可燃毒物殘餘比例及分裂產物濃度等資料無誤，並產生爐心填換計畫 CLP 供客戶參考及後續燃料製造時使用。

總體而言，ALAMO 將前週期燃料佈局、燃耗資料及爐心狀況，帶入 ALPS 進行符合設計週期能量需求之填換佈局規劃，再將 ALPS 完成

之初步佈局結果轉換為 ALPHA/ PHOENIX-P 及 ANC 所需之輸入檔 (alpha.i & anc.i)，最後配合中子截面資料(*.xsec)匯入 ANC 進行模擬計算，經調整後決定設計週期之爐心填換設計，接續進行設計週期後續週期之爐心填換設計規劃，使燃料使用達到最佳化，即為多週期設計分析。各程式集相互介面連結及流程如圖 1 所示。

註：參考西屋公司技術文件 METCOM 4.0，西屋公司其他爐心填換設計相關之程式集詳細資料，可參考附件 1。

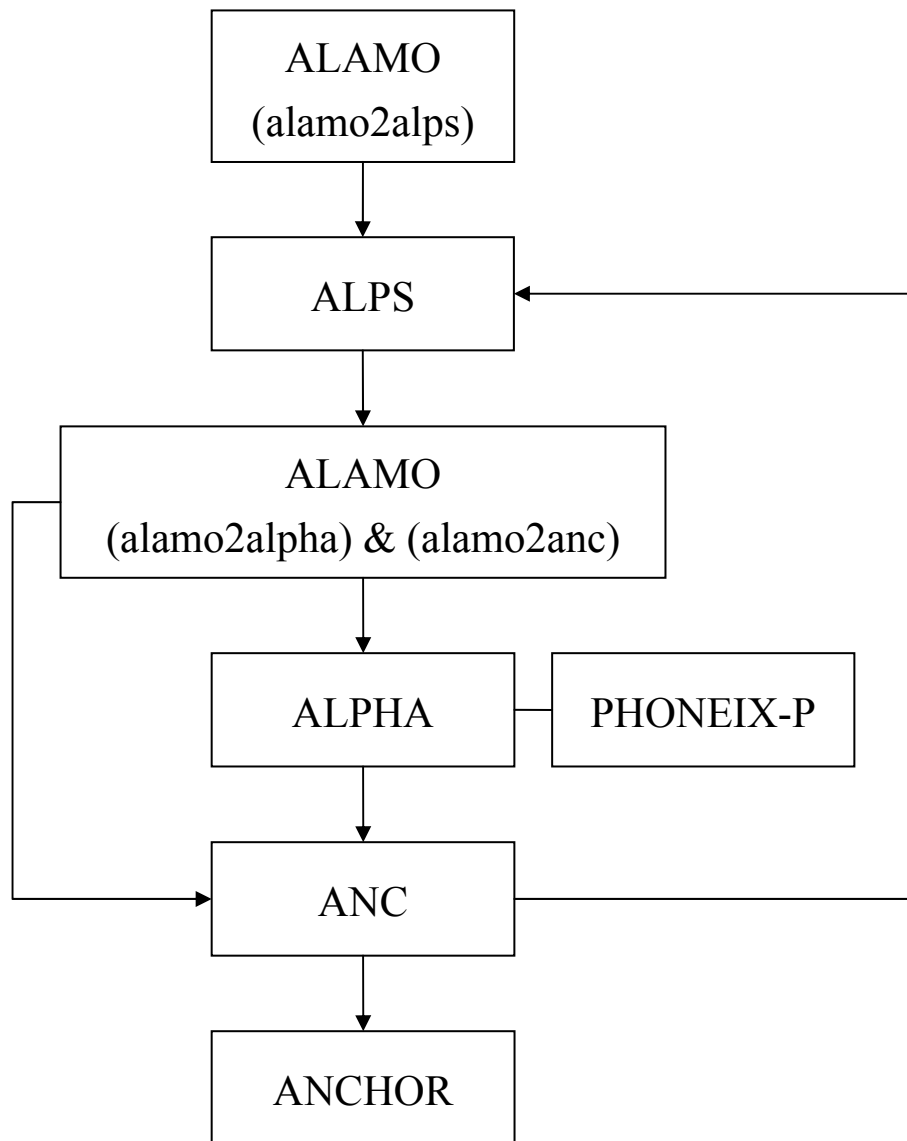


圖 1、程式集相互介面連結及流程圖

三、多週期設計分析流程

多週期設計分析係為產生設計週期所需訂購之燃料數量及型式，並確保該批燃料在填換週期及後續週期中，燃料表現可達到最佳化，故須對前週期(Cycle N-1)、設計週期(Cycle N)及後續週期(Cycle N+1, N+2)分別進行爐心填換設計，將前週期燃料使用狀況帶入設計週期，視需要調整爐心佈局、填換燃料型式及可燃毒物數量，甚至是就填換燃料數量作增減。

以本次實習所進行之核三廠 2 號機第 22 填換批次(MS2R22)多週期設計分析為例，其多週期設計的目標設計週期(Cycle N)即為週期 23 (MS2CY23)、前週期(Cycle N-1)為週期 22 (MS2CY22)，後續週期(Cycle N+1, N+2)則為週期 24 及 25 (MS2CY24, MS2CY25)。

(一) 多週期設計分析流程 (如圖 2 所示)

Step.1 前週期(Cycle N-1)之爐心填換設計

依照本公司製成核燃料庫存政策，通常 Cycle N-2 為運轉中週期，而 Cycle N-1 為隨即將投入運轉之週期，由於 Cycle N-1 之爐心填換設計仍有調整之可能性，故進行 Cycle N 之多週期設計分析時，需從 Cycle N-1 的爐心填換設計開始，惟為確保機組的運轉安全及可靠性，必須儘可能反映實際爐心狀況及運轉限制。

Step.2 清查燃料庫存及燃耗資料

先就資料庫中 Cycle N-1 之爐心填換設計結果，包含爐心佈局、燃料燃耗資料作清查，確認有多少 Once Burned 或 Twice Burned 燃料其燃耗值未達退出目標，可再回填使用，同時考慮 Cycle N-1 結束後，尚餘多少庫存燃料可供使用。

Step.3 建立燃料填換佈局程式輸入檔

執行 ALAMO 之 alamo2alps 步驟，將 Cycle N-1 之爐心佈局及燃耗資料帶入，分別設定庫存燃料及用過且將再回填之燃料數量，產生 alps.i 以作為執行 ALPS 之初始資料。

Step.4 設計週期(Cycle N)燃料填換佈局設計

帶入燃料初始資料 alps.i，並設定 Cycle N 之能量需求，執行 ALPS 程式，以進行填換燃料(Feed)數量預估，決定爐心可用燃料後，先以 Cycle N-1 之燃料填換佈局及填換燃料型式，對 Cycle N 之爐心燃料進行反應度排序(ρ - ranking)，產生 E-IDFA 資料 (表 1)，作為 Cycle N 燃料填換佈局之參考。

依據燃料佈局策略 (詳見第參、四節 爐心佈局設計策略)，將本週期填換燃料 (新燃料) 以火圈及西洋棋盤式填入後，依序將再回填之用過燃料按反應度高低填入佈局之中，反應度越低者，優先填入爐心最外圍(periphery)或角落(corners)，反應度相對高者，則緊鄰新燃料周圍，補足火圈之能量出力，完成之 Cycle N 初始燃料佈局將作為後續執行 ALPHA/ PHOENIX-P/ ANC 程式集使用，並將視分析結果需要再進行微調或變更。

正常情況下，西屋公司對於核三廠的燃料佈局係以 1/4 爐心(quarter-core)進行設計，即每旋轉 90°之 1/4 爐心均相同 (或稱旋轉對稱)，並盡量符合 1/8 爐心對稱(octant symmetry)，即除旋轉對稱外，爐心燃料對稱於水平及垂直線 (或稱鏡向對稱，但通常部分最外圍位置的二次燃耗(twice burned)燃料將無法完全對稱，此時只能維持近似對稱)。因此，E-IDFA 所產生之燃料反應度資料燃料束數量均為 4 的倍數，在填入爐心時則需注意盡量 45°角線的燃料位置對稱，以達到近似鏡向對稱之目標。

1/4 爐心佈局可參考圖 3 之燃料位置及挪移資料 C-SHUFM，爐心座標表示法為 (列，行)，垂直及水平對稱軸上由中心位置的(1,1)至最外圍的(8,1)及(1,8)各有 8 格，爐心邊緣則呈鋸齒狀，反應度需求最低的位置為爐心邊緣的(8,1)(1,8)組合、(8,2)(2,8)組合、

(7,3)(3,7)組合、(7,4)(4,7)組合及、(6,5)(5,6)組合（所謂組合係因鏡向對稱在 1/4 爐心佈局中可視作 45°角線對稱），反應度較高的位置除新燃料(FEED)外，則為 45°角線上(5,5)、(4,4)的火圈位置及(5,1)(1,5)組合，中心位置(1,1)則為全爐心僅有 1 束的中心棒。

Step.5 產生中子遷移計算模擬程式集輸入檔

完成 Cycle N 初始燃料佈局後，執行 ALAMO 之 alamo2alpha 及 alamo2anc 等步驟，將 ALPS 之燃料佈局結果帶入，並設定新燃料之燃料標籤，產生 ALPHA/ PHOENIX-P/ ANC 程式集所需之 FUELPAT & REGCOMP 資料（表 2）、ALPHA/ PHOENIX-P 輸入檔 alpha.i 及 ANC 輸入檔 anc.i。

Step.6 產生中子反應截面

以 alpha.i 執行 ALPHA，計算 Cycle N 爐心佈局之二能群中子截面(2-groups neutron cross-section)資料 Cycle N.xsec 供 ANC 進行中子遷移計算使用。

Step.7 中子遷移模擬計算

以 anc.i 執行 ANC，利用前述步驟提供的截面資料、燃料佈局及批次組成，計算各節點位置能量、反應度及燃耗等徑向爐心燃料營運資料 C-FM（圖 4）。透過針尖能量重建得出爐心燃料在 Cycle N 內週期初(BOC)、週期中(MOC)、週期末(EOC)等各累積燃耗值時，燃料束熱限值、爐心硼酸濃度、緩和劑溫度等 ANC 模擬計算彙總資料 E-SUM（表 3）。

其他有關爐心能量需求及運轉資料 E-COR（表 4），不同批次燃料之平均燃耗、濃縮度、熱限值等數據 E-REG（表 5），以及 1/4 爐心燃料束平均燃耗 C-BU、最大針尖燃耗 C-PMX 及燃料熱限值資料 C-FDH 如圖 5、6 及 7 所示。

ANC 所計算之各節點係以每束燃料軸向 6 吋為一節點單位長度（全長約 144 吋共分為 24 個節點），並將每束燃料切成 4 個等分

的小燃料束計算（徑向平面上分為 4 個區塊），故每束燃料可切成 96 個節點，以圖 4 而言，每小燃料束僅取該區塊下最限制之節點資料作為 C-FM 之顯示值。

Step.8 確認能量需求、燃耗限值及熱限值

模擬計算出各節點反應度及燃耗後，須確認達到能量需求且滿足熱限值及運轉條件，以 MS2R22 多週期設計分析之要求為例，目標燃耗需達 48,000 MWD/MTU、EOC 硼酸濃度設定為 30 ppm，燃料棒燃耗限值不得超過 62,000 MWD/MTU，而熱限值 $F\Delta H$ 則應小於 1.495（原依運轉技術規範為 1.62，為避免發生 CIPS/AOA 再下修為 1.495）。

由於 PWR 運轉係以硼酸濃度作功率調整，控制棒幾乎全出，且目前本公司核三廠爐心營運策略，採儘量增加 IFBA 數量以增加硼酸濃度控制之彈性，因保留相當之負反應度，故多週期設計分析過程中，幾可忽略停機餘裕問題，因此僅需確認爐心營運符合熱限值（或稱熱通道因數(hot channel factor)，包含 F_q 、 $F(z)$ 及 $F\Delta H$ 等）要求，其中 F_q 係指爐心中燃料棒最大線性熱產生率(Linear Heat Generation Rate, LHGR)與全爐心平均線性熱產生率之比值，顯示爐心中最大熱產生率限制位置，以避免暫態時燃料中心融毀及燃料護套互應作用(Pellet Cladding Interaction, PCI)； $F(z)$ 係指平面高度 z 最大功率密度與平均功率密度之比值，顯示徑向尖峰因數限值，以避免燃料表面溫度高於 2200°F 後，將於 LOCA 時發生大量燃料破損； $F\Delta H$ 則為爐心中燃料棒最大累積熱焓與平均累積熱焓之比值，顯示軸向尖峰因數限值，以避免燃料棒發生變態沸騰（或稱偏離核沸騰 Departure Nucleate Boiling, DNB）。

如能量不足或安全限值無法符合，可能需要進行燃料佈局調整，甚至是燃料型式或填換數量修改，如調整可燃毒物根數、燃料高低濃縮度比例及使用更多 Feed 等，此時需重新執行 Step.3、Step.4 以產生新的燃料佈局，再重新執行 ALPHA/ PHOENIX-P/ ANC。

Step.9 確認爐心填換設計最佳化

除確認爐心填換設計均已符合能量需求及安全限值外，為使爐心達到最佳化，另應盡量使爐心功率平整，使尖峰因數整體性提高但仍低於熱限值，藉以提高中子利用率以增加燃料經濟性。

為使爐心達到徑向功率平滑分佈，徑向反應度需於火圈位置略微高起，並於燃料外圍呈現較低，而火圈內部則儘量保持平整，透過此反應度配置，可使實際中子通率分佈平滑化，為此可藉由爐心燃料的旋轉(rotation)及挪移(shuffle)，使 C-FM (圖 4) 中的燃料各節點反應度分佈達到要求。

所謂旋轉(rotation)，係指將爐心中同為 1/4 爐心旋轉對稱的同系列燃料束作爐心位置對調，如燃料束分群資料 (表 6) 所示，其初始之燃料設計完全相同，因在爐心中位置為對稱擺置，故燃料表現相似，即燃耗值、反應度等均極為接近，僅有象限角度分別為 0° 、 90° 、 180° 及 270° 的不同，舉旋轉 180° 為例，即是將同分群燃料束中之 0° 及 180° 燃料相互對調；至於挪移(shuffle)則係將燃料就 1/4 爐心內進行位置調動，惟需考慮使爐心盡量符合 1/8 爐心之鏡向對稱，調動燃料位置時，均需以 8 束或 4 束之燃料對稱分群同時進行。

挪移及旋轉完成後之燃料位置 C-SHUFM 如圖 3 所示，除新燃料 FEED 位置外，用過燃料標註前週期爐心位置及本週期旋轉之象限角度。

不同於前述確認能量需求、熱限值之過程，使爐心功率平整之最佳化係屬微調之過程，在調整燃料佈局時，可直接進行 ALPS 結果之修改，再帶入 ALPHA/ PHOENIX-P/ ANC 重新執行模擬計算。

最佳化完成後全爐心佈局資料，以 ANC 採用之標籤代碼 C-AID 如圖 8 所示，經過轉換後將產生實際燃料編號 C-IDS 供製造使用如圖 9。

Step.10 後續週期(Cycle N+1 & N+2)之爐心填換設計

前述步驟執行完成後，已可得知設計週期之填換燃料在 Cycle N 之燃料表現、相關熱限值及爐心資料，然而在為了購得最適燃料而進行的多週期設計分析之中，仍須進行後續週期之爐心填換設計預估，以確保填換燃料除了在設計週期外，後續週期也能保有運轉安全及燃料經濟。

進行後續週期 Cycle N+1, N+2 爐心填換設計預先規劃的過程中，有可能因分析結果無法達到能量需求、違反安全限值或燃料表現不盡理想，而需再回頭調整設計週期 Cycle N 之燃料佈局，如填換燃料高低濃縮度之各批數量、可燃毒物 IFBA 之根數及佈局調整，抑或是 Once Burned 燃料擺放位置之重新考慮，必須力求爐心反應度分佈均勻，同時符合能量需求，唯有在如此繁複的過程之下，才能求出最佳之燃料使用規劃。

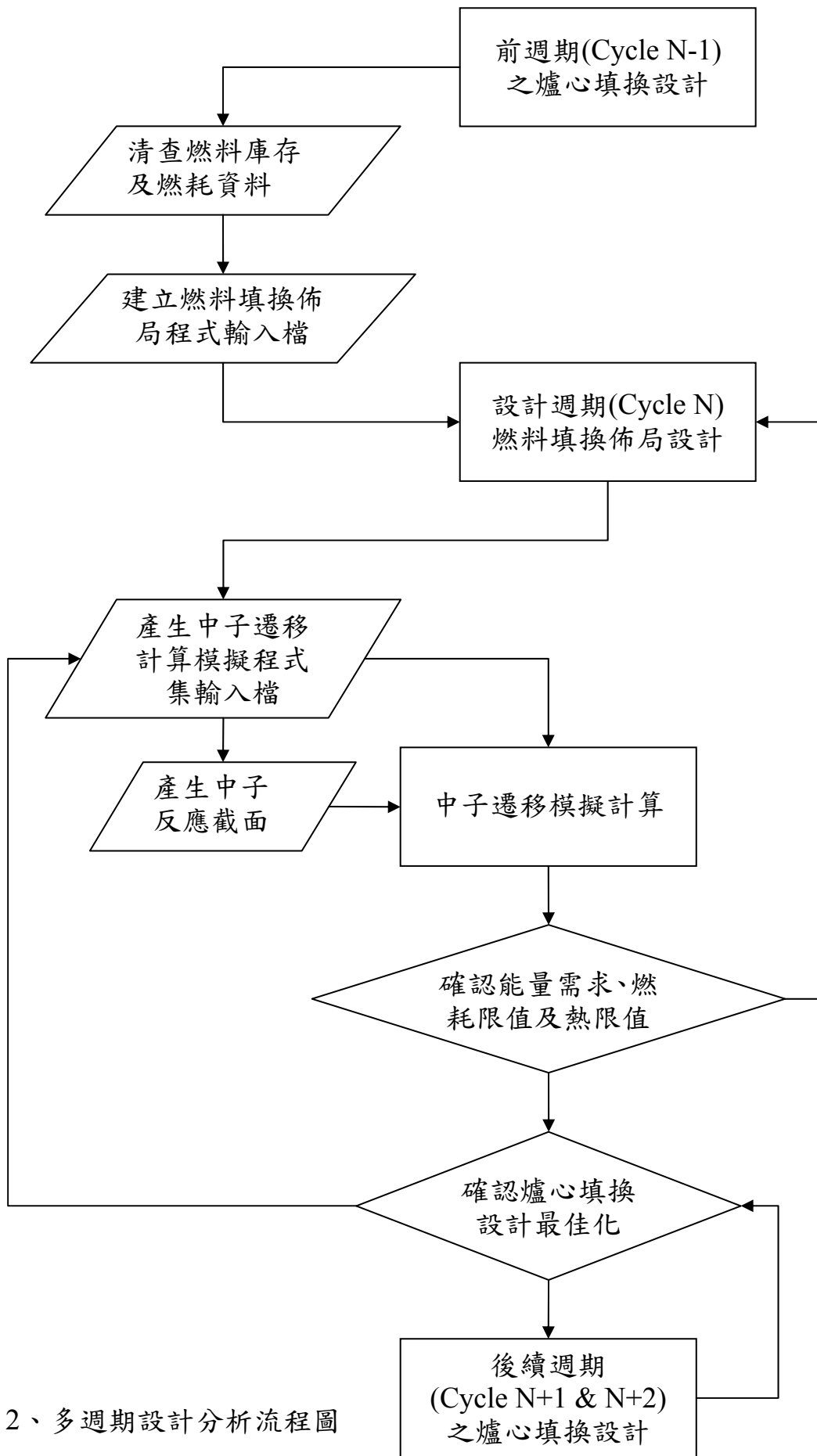


圖 2、多週期設計分析流程圖

C-SHUFM PRIOR CYCLE ASSEMBLY LOCATIONS - MODEL GEOMETRY
 PRIOR CYCLE LOC., ROTATION/REFLECTION OPTION, PRIOR CYCLE

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	(1, 1) TRAN/22	(3, 1) +90/22	FEED ----/--	(3, 3) +270/22	FEED ----/--	(7, 1) TRAN/22	FEED ----/--	(5, 1) +90/22
2	(3, 1) +180/22	FEED ----/--	(2, 6) +270/22	FEED ----/--	(4, 5) TRAN/22	FEED ----/--	FEED ----/--	(2, 2) +180/22
3	FEED ----/--	(6, 2) +90/22	FEED ----/--	(3, 6) TRAN/22	(2, 7) +90/22	FEED ----/--	(2, 4) +90/22	
4	(3, 3) TRAN/22	FEED ----/--	(6, 3) TRAN/22	(4, 6) +180/22	FEED ----/--	FEED ----/--	(3, 5) +90/22	
5	FEED ----/--	(5, 4) TRAN/22	(7, 2) +270/22	FEED ----/--	(6, 4) +180/22	(8, 1) +90/22		
6	(7, 1) +90/22	FEED ----/--	FEED ----/--	FEED ----/--	(4, 6) +180/20			
7	FEED ----/--	FEED ----/--	(4, 2) +270/22	(4, 4) +180/22				
8	(5, 1) +180/22	(5, 5) +180/22						

圖 3、燃料位置及挪移資料 (C-SHUFM)

C-FM RADIAL POINT-WISE DATA FOR FUEL MANAGEMENT
(POWER, K-INF, BURNUP)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1.042	1.045	1.088	1.257	1.272	1.124	1.115	1.240	1.250	1.207	1.192	1.229	0.992	0.548	0.284
	0.987	0.971	0.977	1.049	1.049	0.973	0.971	1.017	1.017	1.019	1.018	1.072	1.073	0.970	0.971
	27569	29855	28896	0	0	29440	29856	0	0	23027	23138	0	0	30914	31011
2	1.045	1.216	1.239	1.106	1.128	1.289	1.294	1.140	1.149	1.302	1.289	1.316	1.033	0.467	0.223
	0.971	1.049	1.049	0.975	0.979	1.049	1.049	0.976	0.980	1.048	1.048	1.174	1.175	0.904	0.890
	29846	0	0	29474	28813	0	0	29063	28532	0	0	0	0	43598	45991
3	1.087	1.239	1.246	1.095	1.114	1.301	1.315	1.169	1.187	1.298	1.247	1.215	0.902	0.365	0.161
	0.977	1.049	1.049	0.969	0.970	1.049	1.048	0.984	0.998	1.049	1.049	1.174	1.176	0.889	0.884
	28893	0	0	30293	30125	0	0	27857	25946	0	0	0	0	46007	47226
4	1.256	1.103	1.092	1.226	1.248	1.183	1.224	1.244	1.213	1.316	1.187	0.813	0.544		
	1.049	0.973	0.969	1.017	1.017	0.986	1.002	1.016	1.002	1.072	1.072	0.972	0.973		
	0	29695	30449	0	0	30389	27921	25877	27860	0	0	30209	30398		
5	1.270	1.122	1.108	1.246	1.269	1.210	1.262	1.327	1.269	1.281	1.084	0.663	0.386		
	1.049	0.977	0.969	1.017	1.017	0.993	1.018	1.061	1.039	1.071	1.073	0.973	0.973		
	0	29095	30377	0	0	29280	25532	19605	22644	0	0	30184	30648		
6	1.118	1.284	1.295	1.176	1.205	1.348	1.290	1.316	1.272	1.248	0.997	0.487	0.240		
	0.971	1.049	1.049	0.985	0.992	1.074	1.034	1.048	1.048	1.154	1.155	0.902	0.877		
	29844	0	0	30645	29421	17630	23242	0	0	0	0	44448	48712		
7	1.114	1.289	1.307	1.214	1.253	1.296	1.212	1.233	1.137	1.057	0.786	0.335	0.149		
	0.972	1.049	1.048	1.001	1.017	1.041	1.006	1.048	1.049	1.155	1.156	0.888	0.869		
	29732	0	0	28175	25736	22378	27268	0	0	0	0	46635	50188		
8	1.237	1.135	1.160	1.229	1.313	1.306	1.225	1.097	0.890	0.623	0.400				
	1.017	0.977	0.984	1.013	1.059	1.048	1.048	1.073	1.041	0.960	0.937				
	0	28949	27832	26380	20060	0	0	17785	22557	31853	34992				
9	1.245	1.140	1.175	1.197	1.250	1.254	1.117	0.868	0.627	0.392	0.225				
	1.017	0.980	0.998	1.000	1.037	1.048	1.049	1.036	1.011	0.962	0.939				
	0	28475	25949	28303	23062	0	0	23311	27337	31872	35032				
10	1.153	1.287	1.285	1.301	1.263	1.224	1.024	0.549	0.348						
	0.988	1.049	1.049	1.072	1.072	1.154	1.155	0.903	0.906						
	27405	0	0	0	0	0	0	37701	37247						
11	1.140	1.276	1.236	1.175	1.069	0.975	0.757	0.343	0.190						
	0.987	1.048	1.049	1.072	1.073	1.155	1.156	0.876	0.880						
	27522	0	0	0	0	0	0	41887	41207						
12	1.226	1.310	1.210	0.807	0.655	0.479	0.323								
	1.072	1.174	1.174	0.972	0.973	0.906	0.888								
	0	0	0	30249	30272	43366	46220								
13	0.995	1.041	0.909	0.545	0.383	0.239	0.147								
	1.073	1.175	1.176	0.973	0.972	0.885	0.876								
	0	0	0	30436	30710	46893	48544								
14	0.554	0.504	0.397												
	0.970	0.943	0.927												
	30873	37644	39753												
15	0.288	0.244	0.181												
	0.972	0.925	0.925												
	30982	40339	40230												
	Maximum	Max Loc		Minimum	Min Loc										
	1.348	(6, 6)		0.147	(13, 7)										
	1.176	(3,13)		0.869	(7,13)										
	50188	(7,13)		0	(1, 4)										

圖 4、徑向節點燃料營運模擬資料 (C-FM)

C-BU	AVERAGE ASSEMBLY BURNUP							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	48589	51388	28579	53031	29083	49948	26040	41024
2	51388	27912	52769	28648	51380	29209	24363	52906
3	28579	52923	28201	51539	48291	27459	43827	
4	53031	28590	51659	46726	26802	21908	54506	
5	29083	51261	48485	26651	40847	42398		
6	49948	29083	27339	21630	47592			
7	26040	24451	43886	53200				
8	41024	47291						
	Maximum	Max Loc			Minimum	Min Loc		
	54506	(4, 7)			21630	(6, 4)		

圖 5、燃料束平均燃耗資料 (C-BU)

C-PMX MAXIMUM PIN BURNUP BY ASSEMBLY

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	50372	53490	29990	55235	30473	54010	29782	46836
2	53490	29441	55281	30082	54707	30830	30025	57214
3	29990	55450	29446	55967	54061	30641	50333	
4	55235	30025	56142	52864	29035	27648	57794	
5	30473	54529	54361	28925	43404	47715		
6	54010	30684	30514	27424	52173			
7	29782	29970	50350	56779				
8	46836	52002						

Maximum	Max Loc	Minimum	Min Loc
57794	(4, 7)	27424	(6, 4)

THE MAXIMUM PIN BURNUP IS 57794. IN ASSEMBLY (4, 7) PIN (5, 4)

圖 6、燃料束內最高針尖燃耗 (C-PMX)

C-FDH ASSEMBLY AVERAGE POWER AND F DH

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.064 1.098	1.085 1.141	1.271 1.329	1.125 1.167	1.239 1.303	1.166 1.252	1.101 1.322	0.427 0.690
2	1.085 1.141	1.247 1.306	1.121 1.172	1.298 1.364	1.160 1.224	1.270 1.342	1.107 1.399	0.311 0.638
3	1.271 1.329	1.117 1.166	1.249 1.331	1.217 1.306	1.253 1.377	1.205 1.374	0.607 0.963	
4	1.125 1.167	1.293 1.357	1.209 1.298	1.277 1.401	1.228 1.359	1.020 1.325	0.310 0.685	
5	1.239 1.303	1.152 1.213	1.239 1.363	1.216 1.352	0.874 1.232	0.418 0.828		
6	1.166 1.252	1.258 1.328	1.192 1.361	0.996 1.304	0.367 0.752			
7	1.101 1.322	1.109 1.391	0.604 0.957	0.306 0.685				
8	0.427 0.690	0.339 0.678						

Maximum	Max Loc	Minimum	Min Loc
1.298	(2, 4)	0.306	(7, 4)
1.401	(4, 4)	0.638	(2, 8)

NOTE - FDH VALUES REPRESENT HETEROGENEOUS PIN POWERS

圖 7、燃料平均能量及 $F\Delta H$ 熱限值 (C-FDH)

C-AID	PLANE VIEW OF ANC REGCOMP ASSEMBLY ID							PLANE VIEW OF ANC REGCOMP ASSEMBLY ID							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1							23B2481B .027	24A2562C .024	23B2481A .024						
2					23B2481A .023	24A2562C .020	25B2483 .050	25B2283 .057	25B2483 .052	24A2562C .025	22B2C41 .065				
3			21A20019 .011	25A2483 .002	24B2283 .063	25A2283 .011	24A2562B .041	25A2283 .018	24B2283 .065	25A2483 .004	23A2481 .001				
4		23A2481 .002	24B2802B .060	25A2283 .021	23B2482 .031	24A2282 .002	25A2563 .042	24A2282 .004	24B2802A .052	25A2283 .031	24B2802B .050	21A20019 .003			
5		22B2C41 .058	25A2483 .005	25A2283 .032	24B2802A .042	24B2802A .051	25A2283 .010	24A2562A .010	25A2283 .039	24B2802A .057	24B2802A .056	25A2283 .013	25A2483 .006	23B2481A .028	
6		24A2562C .022	24B2283 .066	24B2802A .044	24B2802A .045	25A2563 .044	24A2562B .040	25A2283 .026	24A2562B .039	25A2563 .045	24B2802A .054	23B2482 .029	24B2283 .067	24A2562C .021	
7	23B2481A .025	25B2483 .053	25A2283 .027	24A2282 .005	25A2283 .023	24A2562B .038	25A2283 .024	24A2562A .011	25A2283 .017	24A2562B .035	25A2283 .020	24A2282 .006	25A2283 .009	25B2483 .054	23B2481B .020
8	24A2562C .029	25B2283 .058	24A2562B .031	25A2563 .046	24A2562A .017	25A2283 .030	24A2562A .009	24A2562A .016	24A2562A .015	25A2283 .016	24A2562A .013	25A2563 .047	24A2562B .036	25B2283 .059	24A2562C .018
9	23B2481B .022	25B2483 .055	25A2283 .015	24A2282 .007	25A2283 .037	24A2562B .033	25A2283 .035	24A2562A .012	25A2283 .029	24A2562B .034	25A2283 .040	24A2282 .001	25A2283 .028	25B2483 .049	23B2481A .021
10		24A2562C .023	24B2283 .068	23B2482 .032	24B2802A .053	25A2563 .041	24A2562B .037	25A2283 .025	24A2562B .032	25A2563 .048	24B2802A .048	24B2802A .059	24B2283 .062	24A2562C .026	
11		23B2481A .017	25A2483 .007	25A2283 .034	24B2802A .058	24B2802A .047	25A2283 .014	24A2562A .014	25A2283 .038	24B2802A .046	24B2802A .043	25A2283 .012	25A2483 .001	22B2C41 .062	
12			21A20019 .013	24B2802B .061	25A2283 .019	24B2802A .055	24A2282 .008	25A2563 .043	24A2282 .003	23B2482 .030	25A2283 .033	24B2802B .049	23A2481 .003		
13				23A2481 .004	25A2483 .008	24B2283 .069	25A2283 .022	24A2562B .030	25A2283 .036	24B2283 .064	25A2483 .003	21A20019 .004			
14					22B2C41 .061	24A2562C .027	25B2483 .056	25B2283 .060	25B2483 .051	24A2562C .028	23B2481A .018				
15							23B2481A .026	24A2562C .019	23B2481B .019						

圖 8、ANC 程式識別之燃料束編號 (C-AID)

C-IDS	PLANE VIEW ASSEMBLY ID							PLANE VIEW ASSEMBLY ID							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1							V127	W124	V124						
2					V123	W120	X150	X157	X152	W125	U165				
3				T111	X102	W163	X111	W141	X118	W165	X104	V101			
4			V102	W160	X121	V131	W102	X142	W104	W152	X131	W150	T103		
5		U158	X105	X132	W142	W151	X110	W110	X139	W157	W156	X113	X106	V128	
6		W122	W166	W144	W145	X144	W140	X126	W139	X145	W154	V129	W167	W121	
7	V125	X153	X127	W105	X123	W138	X124	W111	X117	W135	X120	W106	X109	X154	V120
8	W129	X158	W131	X146	W117	X130	W109	W116	W115	X116	W113	X147	W136	X159	W118
9	V122	X155	X115	W107	X137	W133	X135	W112	X129	W134	X140	W101	X128	X149	V121
10		W123	W168	V132	W153	X141	W137	X125	W132	X148	W148	W159	W162	W126	
11		V117	X107	X134	W158	W147	X114	W114	X138	W146	W143	X112	X101	U162	
12			T113	W161	X119	W155	W108	X143	W103	V130	X133	W149	V103		
13				V104	X108	W169	X122	W130	X136	W164	X103	T104			
14					U161	W127	X156	X160	X151	W128	V118				
15							V126	W119	V119						

圖 9、實際燃料束編號 (C-IDS)

表 1、反應度排序資料 (E-IDFA)

E-IDFA

ASSEMBLIES AVAILABLE AT CYCLE N RANKED ACCORDING TO K-STAR

IDFA	NO OF ASSYS	BURNUP	SM (E-08)	PM B/CM)	LOCATION CY N-1
1	4	1147542.	1.97340	1.34988	503
2	4	1147495.	1.97469	1.35318	305
3	4	1246255.	1.98610	1.32731	404
4	4	1245705.	1.96828	1.25339	202
5	4	1339491.	1.98307	1.00036	505
6	4	1433437.	1.78617	0.60734	801
7	4	1530945.	2.17279	1.49691	501
8	8	1530387.	2.16623	1.44985	402
9	8	1729790.	2.18897	1.48708	602
10	4	1629718.	2.15947	1.41260	303
11	4	1629372.	2.15855	1.40355	301
12	8	1827825.	2.16830	1.36141	504
13	1	1627569.	2.15085	1.32873	101
14	8	1928387.	2.29571	1.37091	603
15	4	1725273.	2.17673	1.31553	701
16	4	2024451.	2.26847	1.19228	702
17	4	1923996.	2.26773	1.19975	207
18	8	1922688.	2.23456	1.08327	604
19	12	2100000.	0.00000	0.00000	0
20	56	2200000.	0.00000	0.00000	0

E-KSTAR

KSTAR FOR AVAILABLE ASSEMBLIES

IDFA	1550. PPM	1600. PPM	1625. PPM
1	0.8648	0.8614	0.8598
2	0.8651	0.8617	0.8601
3	0.8724	0.8690	0.8674
4	0.8757	0.8724	0.8707
5	0.9143	0.9109	0.9092
6	0.9323	0.9288	0.9270
7	0.9489	0.9454	0.9437
8	0.9525	0.9490	0.9473
9	0.9565	0.9530	0.9512
10	0.9568	0.9533	0.9515
11	0.9590	0.9555	0.9537
12	0.9710	0.9675	0.9658
13	0.9725	0.9690	0.9672
14	0.9868	0.9833	0.9816
15	0.9869	0.9834	0.9816
16	1.0155	1.0120	1.0103
17	1.0169	1.0135	1.0118
18	1.0251	1.0217	1.0200
19	1.1873	1.1833	1.1813
20	1.2048	1.2009	1.1989

表 2、燃料佈局及批次組成資料 (FUELPAT & REGCOMP)

```

FUELPAT (1,1)=24A2562A.016,24A2562A.012,25A2283      ,24A2562A.014,25A2563      ,24A2562B.030,25B2283      ,24A2562C.019/
FUELPAT (1,2)=24A2562A.015,25A2283      ,24A2562B.032,25A2283      ,24A2282.003 ,25A2283      ,25B2483      ,23B2481B.019/
FUELPAT (1,3)=25A2283      ,24A2562B.034,25A2563      ,24B2802.046A,23B2482.030 ,24B2283      ,24A2562C.028/
FUELPAT (1,4)=24A2562A.013,25A2283      ,24B2802.048A,24B2802.043A,25A2283      ,25A2483      ,23B2481A.018/
FUELPAT (1,5)=25A2563      ,24A2282.001 ,24B2802.059A,25A2283      ,24B2802.049B,21A20019.004 /
FUELPAT (1,6)=24A2562B.036,25A2283      ,24B2283      ,25A2483      ,23A2481.003 /
FUELPAT (1,7)=25B2283      ,25B2483      ,24A2562C.026,22B2C41.062 /
FUELPAT (1,8)=24A2562C.018,23B2481A.021/
/
REGCOMP (1, 1, 1) = 24A2562A,    6.0383, A4A2B322,
                                     6.0383, A4A20322,
                                     120.7665, A4A25622,
                                     6.0383, A4A20322,
                                     6.0383, A4A2B322/
REGCOMP (1, 1, 2) = 24A2562B,    6.0383, B4A2B322,
                                     6.0383, B4A20322,
                                     120.7665, B4A25622,
                                     6.0383, B4A20322,
                                     6.0383, B4A2B322/
REGCOMP (1, 1, 3) = 24B2802A,    6.0383, A4B2B122,
                                     6.0383, A4B20122,
                                     120.7665, A4B28022,
                                     6.0383, A4B20122,
                                     6.0383, A4B2B122/
REGCOMP (1, 1, 4) = 23B2482 ,    6.0383, 23B2B122,
                                     6.0383, 23B20122,
                                     120.7665, 23B24822,
                                     6.0383, 23B20122,
                                     6.0383, 23B2B122/
REGCOMP (1, 1, 6) = 23B2481A,    6.0383, A3B2B021,
                                     6.0383, A3B20021,
                                     120.7665, A3B24821,
                                     6.0383, A3B20021,
                                     6.0383, A3B2B021/
REGCOMP (1, 1, 7) = 24A2282 ,    6.0383, 24A2B222,
                                     6.0383, 24A20222,
                                     120.7665, 24A22822,
                                     6.0383, 24A20222,
                                     6.0383, 24A2B222/
REGCOMP (1, 1, 8) = 22B2C41 ,    6.0383, 22B2B121,
                                     6.0383, 22B20121,
                                     120.7665, 22B2C421,
                                     6.0383, 22B20121,
                                     6.0383, 22B2B121/
REGCOMP (1, 1, 9) = 23A2481 ,    6.0383, 23A2B021,
                                     6.0383, 23A20021,
                                     120.7665, 23A24821,
                                     6.0383, 23A20021,
                                     6.0383, 23A2B021/
REGCOMP (1, 1,10) = 23B2481B,    6.0383, B3B2B021,
                                     6.0383, B3B20021,
                                     120.7665, B3B24821,
                                     6.0383, B3B20021,
                                     6.0383, B3B2B021/
REGCOMP (1, 1,12) = 25A2283 ,    6.0383, 25A2B223,
                                     6.0383, 25A20223,
                                     120.7665, 25A22823,
                                     6.0383, 25A20223,
                                     6.0383, 25A2B223/
REGCOMP (1, 1,13) = 25B2283 ,    6.0383, 25B2B223,
                                     6.0383, 25B20223,
                                     120.7665, 25B22823,
                                     6.0383, 25B20223,
                                     6.0383, 25B2B223/
REGCOMP (1, 1,14) = 25B2483 ,    6.0383, 25B2B123,
                                     6.0383, 25B20123,
                                     120.7665, 25B24823,
                                     6.0383, 25B20123,
                                     6.0383, 25B2B123/
REGCOMP (1, 1,15) = 24B2283 ,    6.0383, 24B2B123,
                                     6.0383, 24B20123,
                                     120.7665, 24B22823,
                                     6.0383, 24B20123,
                                     6.0383, 24B2B123/
REGCOMP (1, 1,16) = 25A2563 ,    6.0383, 25A2B323,
                                     6.0383, 25A20323,
                                     120.7665, 25A25623,
                                     6.0383, 25A20323,
                                     6.0383, 25A2B323/
REGCOMP (1, 1,17) = 25A2483 ,    6.0383, 25A2B123,
                                     6.0383, 25A20123,
                                     120.7665, 25A24823,
                                     6.0383, 25A20123,
                                     6.0383, 25A2B123/
REGCOMP (1, 1,18) = 21A20019,    6.0383, 21A00B19,
                                     6.0383, 21A2TB19,
                                     120.7665, 21A20019,
                                     6.0383, 21A2TB19,
                                     6.0383, 21A00B19/
REGCOMP (1, 1,19) = 24B2802B,    6.0383, B4B2B122,
                                     6.0383, B4B20122,
                                     120.7665, B4B28022,
                                     6.0383, B4B20122,
                                     6.0383, B4B2B122/
REGCOMP (1, 1,20) = 24A2562C,    6.0383, C4A2B322,
                                     6.0383, C4A20322,
                                     120.7662, C4A25622,
                                     6.0383, C4A20322,
                                     6.0383, C4A2B322/

```

表 3、ANC 模擬結果彙總 (E-SUM)

E-SUM		SUMMARY OF ANC RUNS										END OF RUN									
NO	BU	POWER	EIGEN	BORON CON	TIN	XE SM	FQ	FDH	FE	AO/ASI	S	D	C	B	A	PL	FILEID	TITLE			
				PPM	G/KG	DEG-F	DEG-C				*										
1	0	1.000	0.9999998	900	5.148	556.2	291.2	DS	DS	1.000	1.000	1.154	-3.15	0	N	225	225	225	225	M2C23ENR00	ANC CORE MODEL INP
2	0	1.000	0.9999995	1697	9.704	556.2	291.2	HD	HD	1.737	1.418	1.212	10.55	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR01	ANC CORE MODEL INP
3	150	1.000	0.9999998	1322	7.562	556.2	291.2	EQ	DP	1.544	1.401	1.087	1.76	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR02	ANC CORE MODEL INP
4	1000	1.000	0.9999995	1335	7.635	556.2	291.2	EQ	DP	1.575	1.400	1.112	0.65	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR03	ANC CORE MODEL INP
5	2000	1.000	0.9999997	1374	7.859	556.2	291.2	EQ	DP	1.659	1.416	1.153	0.05	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR04	ANC CORE MODEL INP
6	3000	1.000	0.9999999	1392	7.961	556.2	291.2	EQ	DP	1.709	1.425	1.176	-0.71	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR05	ANC CORE MODEL INP
7	5000	1.000	0.9999995	1357	7.762	556.2	291.2	EQ	DP	1.746	1.448	1.185	-2.42	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR06	ANC CORE MODEL INP
8	7000	1.000	0.9999996	1260	7.209	556.2	291.2	EQ	DP	1.765	1.458	1.171	-3.32	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR07	ANC CORE MODEL INP
9	9000	1.000	0.9999997	1125	6.435	556.2	291.2	EQ	DP	1.754	1.463	1.157	-3.37	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR08	ANC CORE MODEL INP
10	11000	1.000	1.0000001	966	5.527	556.2	291.2	EQ	DP	1.731	1.456	1.149	-3.05	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR09	ANC CORE MODEL INP
11	13000	1.000	1.0000000	793	4.535	556.2	291.2	EQ	DP	1.707	1.444	1.146	-2.75	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR10	ANC CORE MODEL INP
12	15000	1.000	0.9999999	613	3.504	556.2	291.2	EQ	DP	1.680	1.428	1.144	-2.57	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR11	ANC CORE MODEL INP
13	17000	1.000	0.9999992	430	2.460	556.2	291.2	EQ	DP	1.661	1.414	1.145	-2.52	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR12	ANC CORE MODEL INP
14	19000	1.000	1.0000004	249	1.425	556.2	291.2	EQ	DP	1.646	1.400	1.148	-2.62	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR13	ANC CORE MODEL INP
15	21000	1.000	1.0000002	71	0.407	556.2	291.2	EQ	DP	1.632	1.385	1.152	-2.95	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR14	ANC CORE MODEL INP
16	21495	1.000	0.9999995	28	0.158	556.2	291.2	EQ	DP	1.627	1.382	1.152	-3.04	0	Y	225	225	225	225	M2C23ENR15	ANC CORE MODEL INP
17	150	1.000	1.0000000	1307	7.475	556.2	291.2	RC	HD	1.801	1.451	1.174	8.94	0	Y	137	225	225	225	225	150 BU HFP RIL BOT
18	1000	1.000	1.0000006	1320	7.548	556.2	291.2	RC	HD	1.745	1.420	1.184	8.24	0	Y	137	225	225	225	225	1000 BU HFP RIL BO
19	2000	1.000	0.9999997	1359	7.774	556.2	291.2	RC	HD	1.798	1.436	1.226	8.55	0	Y	137	225	225	225	225	2000 BU HFP RIL BO
20	3000	1.000	0.9999996	1377	7.877	556.2	291.2	RC	HD	1.849	1.453	1.250	8.66	0	Y	137	225	225	225	225	3000 BU HFP RIL BO
21	5000	1.000	0.9999996	1343	7.682	556.2	291.2	RC	HD	1.902	1.471	1.259	8.61	0	Y	137	225	225	225	225	5000 BU HFP RIL BO
22	7000	1.000	1.0000009	1247	7.130	556.2	291.2	RC	HD	1.918	1.480	1.245	8.69	0	Y	137	225	225	225	225	7000 BU HFP RIL B
23	9000	1.000	1.0000008	1111	6.355	556.2	291.2	RC	HD	1.916	1.484	1.223	8.57	0	Y	137	225	225	225	225	9000 BU HFP RIL B
24	11000	1.000	0.9999995	953	5.450	556.2	291.2	RC	HD	1.904	1.480	1.211	8.70	0	Y	137	225	225	225	225	11000 BU HFP RIL B
25	13000	1.000	1.0000001	779	4.458	556.2	291.2	RC	HD	1.884	1.470	1.207	8.58	0	Y	137	225	225	225	225	13000 BU HFP RIL B
26	15000	1.000	1.0000001	599	3.427	556.2	291.2	RC	HD	1.856	1.459	1.200	8.43	0	Y	137	225	225	225	225	15000 BU HFP RIL B
27	17000	1.000	0.9999999	417	2.385	556.2	291.2	RC	HD	1.838	1.446	1.199	8.55	0	Y	137	225	225	225	225	17000 BU HFP RIL B
28	19000	1.000	0.9999992	237	1.355	556.2	291.2	RC	HD	1.814	1.434	1.193	8.53	0	Y	137	225	225	225	225	19000 BU HFP RIL B
29	0	0.000	1.0000002	1877	10.734	557.0	291.7	NA	HD	2.900	1.453	1.963	49.78	0	Y	225	225	225	225	225	H2P MTC CASE 0 BU
30	0	0.000	1.0000002	1877	10.734	557.0	291.7	NA	HD	2.748	1.382	1.963	49.78	0	Y	225	225	225	225	225	H2P MTC CASE 0 BU
31	0	0.000	1.000112	1877	10.734	562.0	294.5	NA	HD	2.729	1.382	1.946	49.29	0	Y	225	225	225	225	225	H2P MTC CASE 0 BU
32	0	0.000	0.999919	1877	10.734	552.0	288.9	NA	HD	2.770	1.382	1.982	50.37	0	Y	225	225	225	225	225	H2P MTC CASE 0 BU
33	150	1.000	0.9999998	1322	7.562	556.2	291.2	HD	HD	1.546	1.401	1.088	1.83	0	Y	225	225	225	225	225	HFP MTC CASE 150 B
34	150	1.000	0.9999999	1322	7.562	556.2	291.2	HD	HD	1.471	1.338	1.088	1.83	0	Y	225	225	225	225	225	HFP MTC CASE 150 B
35	150	1.000	0.9999516	1322	7.562	561.2	294.0	HD	HD	1.485	1.337	1.089	-2.38	0	Y	225	225	225	225	225	HFP MTC CASE 150 B
36	150	1.000	1.0000448	1322	7.562	551.2	288.5	HD	HD	1.540	1.339	1.139	5.26	0	Y	225	225	225	225	225	HFP MTC CASE 150 B
37	1075	1.000	1.0000001	1343	7.680	556.2	291.2	HD	HD	1.583	1.401	1.118	0.77	0	Y	225	225	225	225	225	HFP MTC CASE 5% BU
38	1075	1.000	1.0000002	1343	7.680	556.2	291.2	HD	HD	1.475	1.323	1.118	0.77	0	Y	225	225	225	225	225	HFP MTC CASE 5% BU
39	1075	1.000	0.9999549	1343	7.680	561.2	294.0	HD	HD	1.501	1.324	1.125	-2.90	0	Y	225	225	225	225	225	HFP MTC CASE 5% BU
40	1075	1.000	1.0000421	1343	7.680	551.2	288.5	HD	HD	1.493	1.321	1.132	3.79	0	Y	225	225	225	225	225	HFP MTC CASE 5% BU

表 4、爐心能量需求及運轉資料 (E-COR)

E-COR AVERAGE CORE EDIT

ACCUMULATED CYCLE ENERGY IS 3.52 EFPD OR 150. MWD/MTM
 CORE AVERAGE BURNUP IS 18028. WITH A PEAK OF 56465. AND A MINIMUM OF 43.
 CORE AVERAGE BURNABLE BORON REMAINING IS 0.000 DISCRETE AND 0.449 IFBA

SOLUBLE BORON CONCENTRATION IS 1322. PPM, 7.562 G/KG

CORE RELATIVE POWER IS 1.000
 CORE AVERAGE XE-135 N.D. IS 0.29702E-08 AND SM-149 N.D. IS 0.22505E-07
 MAXIMUM ASSEMBLY POWER IS 1.298 AT (2, 4)

CORE MAXIMUM FQ IS 1.544 AT (6, 6,18)
 CORE AVERAGE FZ IS 1.087 AT (,,19)
 MAXIMUM FZ IS 1.144 AT (4, 7,21)
 CORE MAXIMUM FDH IS 1.401 AT (6, 6,)
 CORE MAXIMUM FXY IS 1.640 AT (1, 5,24)

CORE AVERAGE EFFECTIVE FUEL TEMPERATURE IS 1256.0 F, 680.0 C (POWER-VOLUME) AND 1161.3 F, 627.4 C (VOLUME)
 CORE AVERAGE AXIAL OFFSET IS 1.76 PERCENT
 CORE AVERAGE LINEAR POWER DENSITY: 5.526 KW/FT, 18.13 KW/M (COLD) (HGIF = 97.40 PERCENT)
 CORE PEAK LINEAR POWER DENSITY: 8.533 KW/FT, 27.99 KW/M (COLD) (HGIF = 97.40 PERCENT)

CORE AVERAGE DENSITIES ARE 0.69665 (POWER-VOLUME) AND 0.70229 (VOLUME)
 MAXIMUM NODE QUALITY IS -0.056 AT (6, 6,)
 INLET TEMPERATURE IS 556.2 F, 291.2 C AND AVERAGE IS 591.2 F, 310.7 C
 ENTHALPY RISE IS 91.98 BTU/LB,213.947J/G

EIGENVALUE IS 0.999998 AND K-INFINITE IS 1.028517
 EQUIVALENT TOTAL BUCKLING IS 4.924541E-04
 CORE AVERAGE LOADING IS 2458. KG/M**3
 CORE AVERAGE DOPPLER FITTING COEFFICIENTS
 VOLUME AVERAGE B1 = 0.26545E-04, B2 = -0.44934E-12
 POWER-VOLUME AVERAGE B1 = 0.26134E-04, B2 = -0.44799E-12

CORE AVERAGE MACROSCOPIC CROSS SECTIONS, INCLUDING FEEDBACK

	FAST	THERMAL
DIFFUSION	1.458753	0.376459
ABSORPTION	0.010793	0.121391
REMOVAL	0.015477	
NU-FISSION	0.006810	0.158506
K-FISSION	0.539413	12.728291
FLUX	0.30178E-09	0.38516E-10 (N/BARN SEC)
FLUX > 1MeV	(NO FLUENCE CALCULATION)	

表 5、燃料批次資料 (E-REG)

E-REG REGION AVERAGE DATA

REGID	ENRICH	AREA	POWER	FQ	FDH	BURNUP	MIN BU	MAX BU	XENON	SAM	BA	IFBA
24A2562A	4.596	9.00	1.101	1.297	1.167	29490.	12618.	33102.	2.8931E-09	3.4184E-08	0.000	0.006
24A2562B	4.596	12.00	1.135	1.354	1.252	28455.	9577.	34483.	2.9529E-09	3.4401E-08	0.000	0.009
24B2802A	4.943	16.00	1.239	1.544	1.401	26036.	6886.	35017.	3.2376E-09	3.4134E-08	0.000	0.019
23B2482	4.958	4.00	1.239	1.495	1.363	24637.	7393.	32625.	3.2745E-09	3.3769E-08	0.000	0.022
23B2481A	4.958	8.00	0.308	0.754	0.685	46026.	17014.	54164.	1.5776E-09	4.1446E-08	0.000	0.001
24A2282	4.596	8.00	1.156	1.341	1.224	27999.	10781.	32650.	2.9698E-09	3.3479E-08	0.000	0.009
22B2C41	4.955	4.00	0.310	0.751	0.685	47542.	18015.	56465.	1.5712E-09	4.2066E-08	0.000	0.001
23A2481	4.611	4.00	0.418	0.918	0.828	33499.	11560.	39640.	1.9124E-09	2.9909E-08	0.000	0.002
23B2481B	4.958	4.00	0.339	0.740	0.678	39542.	13957.	45207.	1.7186E-09	3.8091E-08	0.000	0.001
25A2283	4.600	32.00	1.260	1.493	1.364	190.	76.	224.	3.5096E-09	4.5379E-09	0.000	0.973
25B2283	4.950	4.00	1.101	1.421	1.322	166.	66.	202.	3.5600E-09	4.1128E-09	0.000	0.978
25B2483	4.950	8.00	1.108	1.507	1.399	166.	50.	217.	3.4842E-09	4.1115E-09	0.000	0.978
24B2283	4.943	8.00	1.199	1.498	1.374	181.	71.	217.	3.6657E-09	4.4255E-09	0.000	0.976
25A2563	4.600	8.00	1.244	1.472	1.331	188.	91.	218.	3.5230E-09	4.4907E-09	0.000	0.973
25A2483	4.600	8.00	1.008	1.431	1.325	151.	43.	209.	3.1826E-09	3.7257E-09	0.000	0.978
21A20019	4.600	4.00	0.367	0.821	0.752	39564.	14181.	47165.	1.7036E-09	3.4389E-08	0.000	0.000
24B2802B	4.943	4.00	0.874	1.346	1.232	22878.	6917.	31084.	2.9616E-09	3.6689E-08	0.000	0.032
24A2562C	4.596	12.00	0.546	1.034	0.963	30655.	13273.	34751.	2.2259E-09	4.2656E-08	0.000	0.005

表 6、燃料束分群資料 (E-GRP)

E-GRP		ASSEMBLY GROUPING			
MODELED LOCATION	MODELED ASSEMBLY ID	SYMMETRIC QUADRANT2 (90-DEG)	ASSEMBLY ID QUADRANT 3 (180-DEG)	QUADRANT 4 (270-DEG)	
1, 1	24A2562A.016				
1, 2	24A2562A.015	24A2562A.012	24A2562A.009	24A2562A.011	
1, 3	25A2283.016	25A2283.025	25A2283.030	25A2283.026	
1, 4	24A2562A.013	24A2562A.014	24A2562A.017	24A2562A.010	
1, 5	25A2563.047	25A2563.043	25A2563.046	25A2563.042	
1, 6	24A2562B.036	24A2562B.030	24A2562B.031	24A2562B.041	
1, 7	25B2283.059	25B2283.060	25B2283.058	25B2283.057	
1, 8	24A2562C.018	24A2562C.019	24A2562C.029	24A2562C.024	
2, 1	24A2562A.012	24A2562A.009	24A2562A.011	24A2562A.015	
2, 2	25A2283.029	25A2283.035	25A2283.024	25A2283.017	
2, 3	24A2562B.034	24A2562B.037	24A2562B.038	24A2562B.039	
2, 4	25A2283.040	25A2283.014	25A2283.023	25A2283.039	
2, 5	24A2282.001	24A2282.008	24A2282.005	24A2282.004	
2, 6	25A2283.028	25A2283.022	25A2283.027	25A2283.018	
2, 7	25B2483.049	25B2483.056	25B2483.053	25B2483.052	
2, 8	23B2481A.021	23B2481A.026	23B2481A.025	23B2481A.024	
3, 1	25A2283.025	25A2283.030	25A2283.026	25A2283.016	
3, 2	24A2562B.032	24A2562B.033	24A2562B.040	24A2562B.035	
3, 3	25A2563.048	25A2563.041	25A2563.044	25A2563.045	
3, 4	24B2802A.048	24B2802A.047	24B2802A.045	24B2802A.057	
3, 5	24B2802A.059	24B2802A.055	24B2802A.044	24B2802A.052	
3, 6	24B2283.062	24B2283.069	24B2283.066	24B2283.065	
3, 7	24A2562C.026	24A2562C.027	24A2562C.022	24A2562C.025	
4, 1	24A2562A.014	24A2562A.017	24A2562A.010	24A2562A.013	
4, 2	25A2283.038	25A2283.037	25A2283.010	25A2283.020	
4, 3	24B2802A.046	24B2802A.053	24B2802A.051	24B2802A.054	
4, 4	24B2802A.043	24B2802A.058	24B2802A.042	24B2802A.056	
4, 5	25A2283.012	25A2283.019	25A2283.032	25A2283.031	
4, 6	25A2483.001	25A2483.008	25A2483.005	25A2483.004	
4, 7	22B2C41.062	22B2C41.061	22B2C41.058	22B2C41.065	
5, 1	25A2563.043	25A2563.046	25A2563.042	25A2563.047	
5, 2	24A2282.003	24A2282.007	24A2282.002	24A2282.006	
5, 3	23B2482.030	23B2482.032	23B2482.031	23B2482.029	
5, 4	25A2283.033	25A2283.034	25A2283.021	25A2283.013	
5, 5	24B2802B.049	24B2802B.061	24B2802B.060	24B2802B.050	
5, 6	23A2481.003	23A2481.004	23A2481.002	23A2481.001	
6, 1	24A2562B.030	24A2562B.031	24A2562B.041	24A2562B.036	
6, 2	25A2283.036	25A2283.015	25A2283.011	25A2283.009	
6, 3	24B2283.064	24B2283.068	24B2283.063	24B2283.067	
6, 4	25A2483.003	25A2483.007	25A2483.002	25A2483.006	
6, 5	21A20019.004	21A20019.013	21A20019.011	21A20019.003	
7, 1	25B2283.060	25B2283.058	25B2283.057	25B2283.059	
7, 2	25B2483.051	25B2483.055	25B2483.050	25B2483.054	
7, 3	24A2562C.028	24A2562C.023	24A2562C.020	24A2562C.021	
7, 4	23B2481A.018	23B2481A.017	23B2481A.023	23B2481A.028	
8, 1	24A2562C.019	24A2562C.029	24A2562C.024	24A2562C.018	
8, 2	23B2481B.019	23B2481B.022	23B2481B.027	23B2481B.020	

(二) 多週期設計分析資料說明

E-IDFA : Identifier for Fuel Assembly

用以識別爐心燃料反應度高低，如表 1 中排序數字越小者，表示剩餘燃耗越低，即反應度越低。如表中序號 1~7 即屬反應度最低之 twice burned 燃料，預期將填入爐心周圍位置，序號 15~18 屬反應度較高之 once burned 燃料，填入火圈新燃料位置旁，序號 8~14 則為反應度略低之 once burned 燃料，填入爐心中間以棋盤式排在新燃料旁。

FUELPAT & REGCOMP : Fuel Pattern and Region Composition

提供 ANC 程式燃料佈局及批次組成資料之輸入值，如表 2 中說明 1/4 爐心燃料佈局中，程式識別之燃料編號及燃料束軸向組成。以新燃料編號 25A2483 來說，表示為 Region 25、4.60 w/o (A 為 4.60 w/o、B 為 4.95 w/o)、2 號機 (1 為 Unit 1、2 為 Unit 2)、IFBA 根數為 48I (C4=104I, 48=48I, 28=128I, 56=156I)、CY23 填入 (0=CY20, 1=CY21, 2=CY22)；另描述燃料束軸向，頂部及底部各 6 吋 Blanket 加 6 吋 Cutback 區，及中間區域 120 吋燃料區域，在可燃毒物 IFBA 型式及根數不同時，相對應之節點編號。

E-SUM : Summary of ANC Runs

表 3 提供 ANC 執行後之各燃料束模擬計算結果，包含熱限值、硼酸濃度、緩和劑進口溫度、軸向能量偏移資料等。編號 1 至 16 列，說明 ANC 程式模擬爐心燃料燃耗自 0 至 21,495 MWD/MTU5 之燃料營運資料，編號 17 至 28 列則為不同燃耗下 Hot Full Power (HFP)之爐心營運資料。

E-COR : Average Core Edit

表 4 說明 ANC 程式所採用之爐心能量需求、爐心平均燃耗、硼酸濃度、爐心平均氙毒(Xe)及鈾毒(Sm)值、爐心熱限值、爐心功率密度，以及爐心平均二能群巨觀截面等。

E-REG : Region Average Data

表 5 顯示各批次編號燃料之濃縮度、數量、熱限值 (F_q 及 $F\Delta H$)、平均燃耗、最大及最小值燃耗、氙毒(Xe)及鈾毒(Sm)等數據。其中，各編號均代表不同批次，以 24A2562A 來說，表示為 Region 24、4.6 w/o、使用於 2 號機、IFBA 根數 156，並於 CY22 填入，最後一碼 A 係屬用過燃料再填入時，因再分批使用，故另新增一代碼以區分，本表中 24A2562 回填時，共再分為 A、B、C 三批。

E-GRP : Grouping of Assemblies

表 6 係將全爐心燃料位於不同象限位置，但屬旋轉對稱之同燃料表現燃料列為同分群燃料，並以 ANC 程式可識別之燃料標籤作表示，屬於同分群之燃料可在爐心佈局微調時進行擺放位置之旋轉。其中，第一、二欄顯示為 1/4 爐心佈局中座標位置 (列, 行) 及該位置之燃料分群編號與標籤，第三、四、五欄則分別為 90° 、 180° 、 270° 旋轉對稱之燃料分群編號與標籤。

C-BU : Assembly Average Burnup

1/4 爐心佈局之燃料束平均燃耗

C-PMX : Pin Maximum Burnup

1/4 爐心佈局之燃料棒最大針尖燃耗

C-FDH : Assembly Average Power and $F\Delta H$

1/4 爐心佈局之各燃料束平均功率及 $F\Delta H$ 熱限值

C-FM : Radial Point-wise Data for Fuel Management

圖 2 表示為 1/4 爐心佈局下，每束燃料平面分為 4 等分區塊，其軸向 144 吋共 24 個節點，最限制之 ANC 模擬燃耗及反應度資料，該資料可用作爐心佈局微調時，同分群燃料進行旋轉以調整反應度分佈之參考。

該圖資料由外圍算起，以每 4 格為 1 組，另由於 1/4 爐心包含垂直及水平對稱軸，故第 1 行及第 1 列之垂直及水平軸上為沿軸上兩兩成對之資料，而中心點座標(1,1)則僅只有 1 格，4 個象限展開後，即可產生全爐心佈局。

另可觀察爐心最邊緣之外圍燃料反應度均較低，係為 twice burned 燃料，而外圍往內第二層則為火圈之 Feed，燃耗為零、未經使用之新燃料，鄰近火圈屬於反應度較高之 once burned 燃料，目的在補足火圈所需之高反應度，藉由中子向外擴散，以拉平爐心外圍之功率分佈。

C-SHVMF : Quarter-Core Shuffling Fuel Management

ANC 執行完成後之 1/4 爐心佈局資料顯示新燃料 FEED 位置及用過燃料擺放位置如圖 1，其中用過燃料將標註前週期爐心佈局之座標位置，另若有進行同分群燃料挪移或旋轉者，將指明旋轉之象限角度，分別為 90°、180°、270° 及 TRAN，其中的 TRAN 係指仍在同象限中，僅進行燃料位置之挪移。

C-AID : Plane View of ANC Regcomp Assembly ID

圖 6 為全爐心平面之 ANC 程式可識別之燃料束編號，該資料與 E-GRP 相符，為 1/4 爐心燃料佈局展開後之結果。

C-IDS : Plane View Assembly ID

圖 7 為全爐心平面之實際燃料束編號，該資料為 C-AID 轉換成製程中較易判讀之數字及英文字母組合，英文字母代表製造批次、數字表示燃料流水號，以 MS2R22 批次燃料為例，X101~X148 表示為 4.60 w/o 之燃料，而 X149~X160 表示為 4.95 w/o 之燃料。

(三) 多週期設計分析結果

核三廠 2 號機第 22 填換批次(MS2R22)多週期設計分析結果，前週期(MS2CY22)預計使用 65 束、設計週期(MS2CY23)使用 68 束、後續週期(MS2CY24 & MS2CY25)分別使用 69 束及 72 束 VANTAGE+燃料。(各週期詳細燃料使用數量資料如表 7)

其中，因 MS2CY22 能量需求大幅變化(較前進行 MS2R21 多週期設計分析時減少 124 GWD)，在進行 MS2CY22 爐心填換設計時，共有 73 束庫存燃料可供使用，為兼顧能量需求及熱限值要求，

將該批燃料所有 41 束 4.6 w/o 燃料全數使用，加計 24 束 4.95 w/o 燃料，仍餘 8 束庫存將留至下一週期使用。

而設計週期 MS2CY23 爐心填換設計初期，已先計算出至少需 66 束燃料方足以提供本週期所需能量，為因應爐心為 1/4 對稱，故先取 4 的倍數，以 64 束燃料（12 束 4.60 w/o 加 52 束 4.95 w/o）進行燃料佈局設計，惟此時能量無法滿足，經過數次燃料挪移，將反應度往中間集中的結果，週期能量可獲得提高，但尖峰因數亦使熱限值超過，故重新考慮燃料數量，重新執行 ALPS 已產生新的燃料佈局，將填換量增加至 68 束，並減少高濃縮度改以較多低濃縮度（48 束 4.60 w/o 加 20 束 4.95 w/o），以增加燃料經濟性並符合尖峰因數要求。

西屋公司最終於 2013/6/11 提交本公司有關 MS2CY23 之多週期設計分析報告(NF-TWP-13-38)如附件 2，該報告說明設計週期(Cycle N)及前週期(Cycle N-1)之爐心營運狀況、熱限值及燃耗限值表現，以及自前週期(Cycle N-1)、設計週期(Cycle N)至後續週期(Cycle N+1 & N+2)之燃料使用計畫，1/4 爐心燃料佈局、週期初與週期末燃料束燃耗資料，以及各週期爐心平均退出燃耗及累積燃耗。（詳細資料整理如表 8）

表 7、各週期預計填換燃料使用數量明細

燃料編號	濃縮度	可燃毒物型式	燃料數量	可燃毒物數量
前週期 MS2CY22 (Cycle N-1)				
W101-W108	4.60	128I	8	1024
W109-W141	4.60	156I	33	5148
W142-W161	4.95	80I	20	1600
V129-V132	4.95	48I	4	192
合計			65	7964
設計週期 MS2CY23 (Cycle N)				
X101-X108	4.60	48I	8	384
X109-X140	4.60	128I	32	4096
X141-X148	4.60	156I	8	1248
X149-X156	4.95	48I	8	384
X157-X160	4.95	128I	4	512
W162-W169	4.95	128I	8	1024
合計			68	7648
後續週期 MS2CY24 (Cycle N+1)				
	4.60	128I	12	1536
	4.60	156I	1	156
	4.95	48I	16	768
	4.95	128I	12	1536
	4.95	156I	28	4368
合計			69	8364
後續週期 MS2CY25 (Cycle N+2)				
	4.60	128I	24	3072
	4.60	156I	24	3744
	4.95	48I	16	768
	4.95	128I	8	1024
合計			72	8608

表 8、MS2CY23 多週期設計分析報告資料彙整

週期長度	Cycle N-1	22555 MWD/MTU		
	Cycle N	21495 MWD/MTU		
項目	Cycle N-1 模擬結果	Cycle N 模擬結果	設計限值	運轉限值
熱限值				
F ΔH, ARO	1.483	1.463	1.495	1.62
F ΔH, Rodded	1.501	1.484	1.555	1.62
Fq	1.781	1.765	2.24	2.42
停機餘裕 (SDM), pcm				
HZP	>2.77	>2.77	2.77	1.77
緩和劑係數 (MTC), pcm/°F				
BOC HZP	+3.518	+1.930	+5.5	+7.0
5% of cycle HFP (ATWS)	-7.632	-9.096	-5.0	-5.0
EOC HFP	>-49.0	>-49.0	-49.0	-49.0
硼酸濃度, ppm				
BOC HZP	2031	1877	2400	2400
BOC HFP (Xenon free)	1847	1697	2400	2400
EOC	42	28	30	30
尖峰燃耗, MWD/MTU				
Rod	58145	57794	62000	62000

ARO: All Rod Out 控制棒全出

BOC: Begin of Cycle 週期初

EOC: End of Cycle 週期末

SDM: Shutdown Margin 停機餘裕

MTC: Moderator Temperature Coefficient 緩和劑溫度係數

HZP: Hot Zero Power 熱機零功率

HFP: Hot Full Power 熱機全功率

四、 爐心佈局設計策略

西屋公司目前進行 PWR 之爐心佈局>Loading Pattern, LP) 設計，基本上採用 L3P (Low Leakage Loading Pattern) 之佈局型式，爐心外圍以二次燃耗(twice burned) 燃料作為吸收中子之反射體，減少中子洩漏機率；其次第二及第三層，設置較高濃縮度之填換燃料(feed) 作為火圈(ring of fire)，輔以一次燃耗(once burned) 燃料提供主要反應度，中心位置設計時以較低濃縮度 feed 及 once burned 燃料作西洋棋盤式(checkerboard) 擺置，可同時提供爐心能量並避免能量尖峰因數(peaking factor) 超過安全限值。

爐心佈局設計主要在決定填換燃料數量（包含高低濃縮度不同副批次）、燃料組成（燃料型式及濃縮度）及運轉週期中爐心各燃料位置，設計時需符合安全限值(safety limits)、運轉需求(operational requirements)、經濟效益(economically viable)等 3 個條件，藉由調整批次填換燃料數量、填換燃料濃縮度、吸收中子的可燃毒物類型、可燃毒物的數量及佈局、燃料束組成等 5 項重要參數以達成設計目標。

初步填換佈局係由前週期末的名目燃耗值，利用 ALPS 結果及設計者先前經驗產生，填換燃料的擺放位置是決定成敗的關鍵，對於 L3P 佈局來說，填換燃料分別設置在火圈及錯置於中間棋盤內，並透過燃料束反應度來判斷，相鄰兩束燃料間有過大的反應度差，可能會造成高能量尖峰，透過減少燃料束間反應度之差異（即反應度分佈平滑化 smoothing），可降低能量因數。另由於佈局係以 1/8 對稱或 1/4 對稱計算，因此在調動燃料位置時，需分別以 8 束或 4 束對稱之燃料分群同時進行。

策略上須在通過各項安全限值的前提下，達到本公司所設定之能量需求、符合現有機組運轉條件，透過可燃毒物控制能量尖峰因數分佈，使燃料在週期末時能量完全發揮，並盡量提高燃料濃縮度、減少填換燃料使用，以增進燃料使用之經濟性。

註：參考西屋公司內部訓練資料 NE-422 – PWR Fuel Management _ Foundation Training 及西屋公司技術文件資料 METCOM Chapter 5 Loading Pattern

(一) 燃料佈局要求

燃料佈局設定牽涉各種物理上、契約上及技術上的考量並互相影響，能量需求、燃料週期成本、燃耗設定及限制、燃料束使用性、可燃毒物使用性及限制、燃料設計限制、技術規範限制（諸如 $F \Delta H$, Fq , MTC 等）及其他燃料裝填時必須滿足的參數等。此外，可能還有特別的考量，如燃料擺放位置或填換限制、先前運轉週期之機組測量預測結果(measured to predicted data)明顯異常（如硼酸濃度差異 boron differences、爐心能量傾斜 core power tilts 等），或是客戶的其他要求。

(二) 爐心設計指引

進行爐心設計及爐心佈局時的各項準則及指引，係針對各電廠的特性所編寫並定期維護，同時包含資深設計者經驗給出的設計建議，以協助爐心設計者進行爐心設計時達到最佳化，同時符合目標及限制。至於爐心佈局風險評估則提供了特定週期，爐心佈局上可能會遭遇的風險。

設計準則係為爐心設計必須遵守之定則，包含最大能量尖峰、緩和劑溫度係數、燃耗限制等，這些限制確保了爐心設計結果將是可獲准及可運轉的(licensable and operable)，同時提供了燃料設計及執照核發的基準；設計建議則僅為爐心設計上之經驗分享，目前在提供更佳的燃料經濟性，更快符合安全分析條件(RSAC)限制，在一般的運轉條件下可作為設計參考而無強制性。

燃料佈局初稿將參考 RSER 及 RSLC 進行三維模擬計算，並調整及修正到設計之前週期(Cycle N-1)燃耗滿足能量需求，確定燃料佈局後進行獨立驗證，確認燃料挪移的正確性、可燃毒物擺放位

置及截面資料，並同時驗證燃料擺放位置符合安全限值，進行初步的 mini-RSAC 計算確保該佈局所有設定符合安全限制的基本要求。

(三) 填換燃料濃縮度

填換燃料(feed)濃縮度的選定及使用於燃料營運規劃時，需符合西屋合約保證條款、電廠週期能量需求、燃料運輸箱濃縮度限制、燃料設計準則、全功率運轉之尖峰因數、緩和劑溫度係數、新燃料及用過燃料貯放臨界條件需求等。

設計策略上，就燃料經濟性而言，提高燃料濃縮度可減少填換燃料使用，以更高之燃料出力、更高的平均退出燃耗達到能量需求，然而這意味著反應度無法均勻分佈，可能會產生能量尖峰，對滿足熱限值、安全限值，甚至是燃耗限值來說將會是挑戰。

使用標準濃縮度將有助於加速製程，同時選用兩種高低濃縮度組合的設定最常見，西屋公司同時對於高低濃縮度提出解釋，例如同時使用 4.60 w/o 及 4.95 w/o 填換燃料，不同的反應度表現有助於改善爐心能量分佈，較低濃縮度燃料可在使用 2 週期後退出、較高者則使用至第 3 週期；相反地，如果全數使用 4.95 w/o，則面臨第 2 週期結束必須退出部分燃料時，無可避免將退出仍具反應度之燃料，而造成浪費，故高低濃縮度的設定可增加燃料經濟性。

(四) 填換燃料數量

每批次填換需要數量佔全爐心之比例可略以 [週期燃耗 / 平均退出燃耗] 進行估算，以 MS2CY23 之 505 天週期長度為例（相當於 $505 * 2822 = 1425 \text{ GWD}$ 之能量需求），週期燃耗約為 $1425000 \text{ MWD} / (157 \text{ assy.} * 0.420 \text{ MTU/assy.}) = 21610 \text{ MTD/MTU}$ ，若指定退出燃耗需達 48000 MTD/MTU ，則應填換全爐心之 $(21610/48000) * 100\% = 45\%$ ，相當於 $157 * 45\% = 70$ 束燃料（因爐心對稱，須取 4 的倍數則為 68 或 72）。

原則上，西屋公司進行燃料填換數量初估時，會先以略低於需求之填換數量進行嘗試計算（甚至提高目標燃耗值以降低使用數量），此作法可確保燃料佈局最佳化，若首次設計或經調整後之佈局符合所有條件，則表示已達設計要求，唯有在無法達到需求能量，同時調整佈局後亦無法滿足安全限值，則表示燃料出力過高，即便使填換燃料全數以高濃縮度再加可燃毒物壓抑能量尖峰，亦對燃料營運之經濟性沒有好處，此時須考慮提高燃料使用數量，以滿足設計要求。

(五) 燃料佈局

填換燃料依使用數量之不同，大致上有其一定模式，如 64 束、68 束或 72 束，在爐心中依經驗有不同擺放法，惟仍遵循高濃縮度(4.95 w/o)置於火圈位置、低濃縮度(4.60 w/o)於中心位置成棋盤式錯放，目的在使全爐心的能量分佈均勻。

依平均填換數量約在 68 束左右，每週期結束均將有約 68 束 once burned 及 68 束 twice burned 燃料（該週期初原分別為 feed 及 once burned）從爐心中退出，其中 once burned 燃料正常情況下將全數再填入爐心使用，而 twice burned 燃料將保留約 20 束仍具較高反應度（通常為原 4.95 w/o 中燃耗較低者）者填入，其他併已在爐心使用 3 週期之燃料退出不再利用。

再填入之 once burned 燃料配合 feed，分別在爐心中央及火圈位置提供反應度，twice burned 燃料因仍具反應度，故仍可在爐心最邊緣作為中子反射體，捕獲逃逸之中子，提高中子利用率及燃料經濟性。

(六) 可燃毒物佈局

本公司使用之可燃毒物為 IFBA，採用燃料丸上鍍含 B-10 元素之 ZrB₂ 以控制中子通率，由於不若 Gd₂O₃ 係與 UO₂ 混合製成燃料丸，不會佔去鈾料位置，其使用目的在控制週期初反應度，使用

較多之 IFBA 雖會消耗掉中子反應度，但可達到減少硼酸溶液使用，對機組控制來說實有助益。

在 17*17 的 PWR 燃料共 264 根(扣除預留控制棒及中間導管位置共 25 個)燃料棒中，常見的鍍硼根數有 0, 48, 64, 80, 104, 128, 156 等，佈局上均圍繞著導管(水流位置)周圍，以抑低緩和劑比例較高造成之高中子通率，通常火圈位置會選擇較少根數(如 48 根，甚至是 0)以維持反應度，而中心位置則選用 2 種根數之組合(如 104 及 128 或 128 及 156 根)，以使維持中心位置反應度均勻。

五、文件編寫及分析結果驗證

多週期設計分析完成後，由設計者根據西屋公司核心設計指引進行文件編寫，並將所有相關程式輸入、輸出檔及計算結果，彙整後上傳至西屋公司內部的文件伺服器 EDMS (Electronic Document Management System) 中，作為各相關介面單位資料查詢及後續工作(如燃料製造、核心設計等)之初始資料使用，此文件中部份資料將提供予本公司作為多週期設計分析報告，惟更詳盡指明所有設計流程及其他相關注意事項。

西屋 EDMS 下，有關 MS2R22 填換批次之多週期設計分析文件編號為 CN-TX23-001，描述此設計週期(MS2CY23)之設計需求(包含各週期能量、現有庫存燃料數、各參數條件容許值、參考建立之資料庫)、各週期爐心佈局、燃耗值及燃料表現，並由設計者確認進行設計使用之程式碼及設計準則均為最新版本，詳列各階段步驟執行程式，各程式執行結果、檔名及路徑，以供驗證者作查證。

驗證的過程由同為具經驗之設計者，依照規定進行獨立查證，以確認多週期分析結果係符合西屋公司核心設計指引及各項爐心佈局設計準則，並達到客戶要求之各項需求及電廠所需之安全限制條件。

肆、核燃料製造服務流程觀摩

填換批次燃料經過多週期設計分析後，由工程專案經理(Engineering Project Manager, EPM)或客戶專案經理(Customer Project Manager, CPM)，將核心設計部門完成爐心填換設計，並經安全分析部門 RSAC 確認之爐心填換計畫 CLP (Core Loading Plan)提交本公司審查同意後，將製造通知送至製造廠納入排程之中。

西屋公司設於美國的核燃料製造廠，位處南卡羅來納州的哥倫比亞(Columbia)，廠房及辦公區總計佔地約 550,000 平方英尺，經過 ISO9001 有關核燃料設計、工程及製造方面之認證，亦為西屋公司壓水式反應器(PWR)核燃料，生產、研發及專案管理之重要據點，本公司核三廠所使用之填換燃料均由此製造生產。以下即就在哥倫比亞製造廠有關製程參觀及品質文件閱覽的觀摩過程進行說明。

一、製造服務相關設施及品質管理

西屋公司之核能系統部門，除了賓夕法尼亞州的匹茲堡總部(headquarters)負責核心設計及爐心營運相關，以及南卡羅來納州的哥倫比亞製造廠(Columbia Fuel Fabrication Facility, CFFF)負責核燃料製造服務加工外，尚有美國境外，位於瑞典的Västerås Plant及英國的Springfields Facility製造廠；此外，生產鋳合金材料及相關組件(Zirconium products)的Western Zirconium Plant位於Ogden, UT、生產燃料護套(cladding)的Specialty Metals Plant位於Blairsville, PA，以及專門負責生產CE (Combustion Engineering)燃料元件及相關控制組件的Windsor Fuel Facility則位於Windsor, CT。（相關資料列於表 9）

表 9、西屋公司核燃料相關設施列表

設施	地點	性質
總部		
Headquarter	Pittsburgh, PA	西屋公司總部 核心設計及燃料營運 工程軟體開發 核能營運訓練
製造廠		
Columbia Fuel Fabrication Facility, CFFF	Columbia, SC	燃料設計 燃料及燃料相關組件製造 美國主要核燃料製造廠 同時生產 PWR/BWR 燃料
		轉化容量：1,500 MTU 製造產量：1,500 MTU
Västerås Plant	Västerås, Sweden	燃料製造 瑞典核燃料製造廠 同時生產 BWR/PWR 燃料
		轉化容量：600 MTU 製造產量：600 MTU
Springfields Facility	Springfields, UK	PWR 燃料製造
		轉化容量：500 MTU 製造產量：200 MTU
Tokai	Japan (NFI)	PWR 燃料製造
		製造產量：284 MTU
Kumatori	Japan (NFI)	BWR 燃料製造
		製造產量：250 MTU
鋳合金及組件廠		
Western Zirconium Plant, WZ	Ogden, UT	生產鋳及鋳合金材料
Specialty Metals Plant, SMP	Blairsville, PA	生產鋳合金燃料護套
Windsor Fuel Components Facility, WFCF	Windsor, CT	生產 CE 燃料組件及控制元件

註：製造廠轉化容量及製造產量參考 ERI 報告 2013

西屋公司針對哥倫比亞製造廠之核燃料製造服務保安警戒相當重視，製造廠區入口處設置有武裝警衛管控人員車輛進出，避免閒雜人等窺視或非法闖入造成安全疑慮，行政區域專設有供核安稽查使用之臨時辦公室，同時指定專人提供相關品管文件以利翻閱，現場作業查訪亦有專人負責解說，有效掌握訪客行蹤並兼顧安全。

在現場觀摩的過程中，作業區域規劃井然有序，現場操作人員訓練有素，各批次工作項目由專案經理依循西屋公司品質管理系統(Quality Management System, QMS)，根據製造服務訂購之相關文件，並透過由電腦進行排程管控。正如核安稽查辦公室的牆上，清楚寫明著西屋公司品質管理政策，“It is our policy to provide products and services that fully satisfy customer and regulatory requirements.”，品管不僅是口號，更從核燃料製造供應廠商的工作態度上看得出來。

二、製造服務訂購流程及相關文件

爐心填換計畫 CLP 完成後，將由客戶專案經理 CPM 通知客戶，經過審查同意後，根據契約及技術資料 (Contract And Technical Data, CATD) 向製造廠提交批次訂單(Region Order, RO)及電廠需求(Utility Requirements, UR)，以利製造廠安排進行該批次之製造時程。

製造廠於燃料製造前 4 個月內，將提出物料清單及業務資料(Bill of Material/ Keysheet, BOM/ KS)，以確定機械性質、機械設計、鈾料重量及濃縮度等，完成燃料製造後，則將再回饋燃料實際製造資料 (Design Verification List Package Cover Letter and Standard Distribution List, DEVL) 予核心設計部門，以提供實際製造之物料重量及特性，作為爐心填換設計之資料使用。相關製造服務訂購流程可參考圖 10。

(一) 契約及技術資料 CATD (如附件 3)

係將契約內容規定清楚描述，以利各項契約內容執行時 (尤其是燃料製造相關之準備) 進行確認，包含所採用之各項燃料特性(fuel feature) (詳如表 10 之本公司採用 PWR 燃料製造規格表)、西屋

公司有關各批次燃料之工作內容、燃料及各項報告交貨時程、技術支援及燃料保固等。

(二) 批次訂單 RO 及電廠需求 UR

係將訂購批次之各項要求及資料清楚交代，包含燃料交運需求、所需燃料特性及訂購數量、濃縮鈾來源、所需相關文件及品質要求等。

如電廠除燃料外，有任何爐心組件（如控制棒 Rod Control Cluster Assemblies (RCCAs)或可燃毒物 Wet Annular Burnable Absorbers (WABAs)等）、額外燃料零組件之需要，或需於電廠內進行更換、維修等工作項目，均可於此時提出。

(三) 物料清單及業務資料 BOM/KS

係將製造過程所需物料及作業排程列表並電腦化，以利製造各部門進行規劃，在西屋之核燃料製造作業系統共可分為“planning”、“preliminary”、“mechanical final”、“final”，分階段提供財務資訊、所需物料、排程規劃，機械設計資料，以及最後使用數量、濃縮度、燃料佈局等製造資訊。

(四) 燃料實際製造資料 DEVL

係將實際燃料製造之設計參數及物料重量，忠實回饋給上游之核心設計端，以作為未來爐心填換設計時，反映在庫存燃料資料庫之更新。該文件將描述燃料元件、爐心組件、燃料及爐心介面及燃料參數。(Fuel Assembly, Skeleton, ADU Fuel rod assy. – enriched pellet & solid blanket pellet, IFBA rod assy. – enriched pellet & annular blanket pellet, Coated IFBA Pellet, Control rods. etc.)

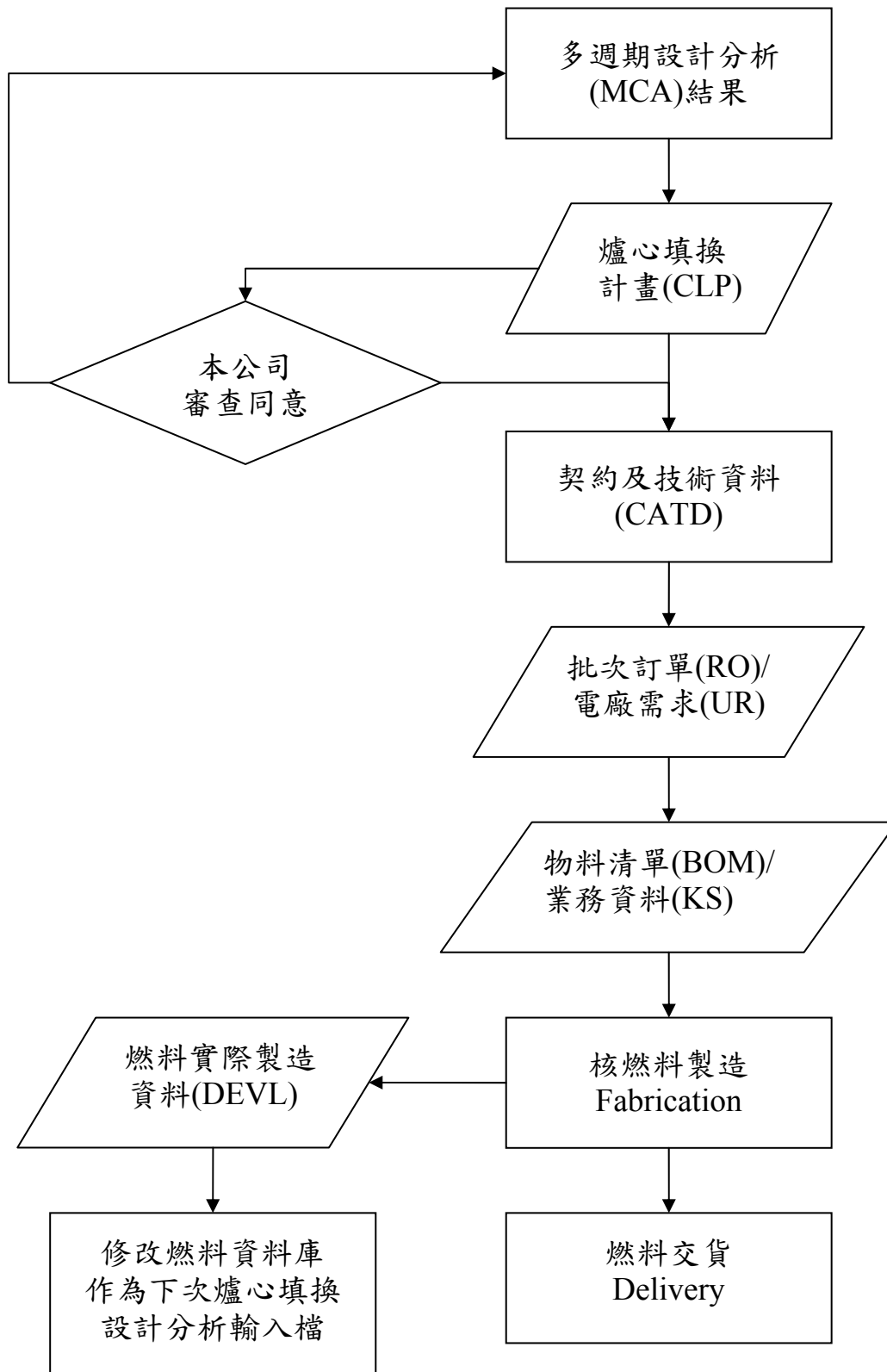


圖 10、西屋公司核燃料製造訂單通知流程圖

表 10、本公司採用之 PWR 核燃料製造規格表

燃料敘述				
* W-SSS fuel, PWR, 17x17 OFA Design, Vantage+, Z+2				
* High burnup plus $\geq 50,000$ MWD/MTU				
燃料元件設計特徵				
* Removable Top Nozzle, RTN				
* TNBB Screw (718 Alloy)				
* Jedinstvo Bottom Nozzle				
* Debris Filter Bottom Nozzle				
* ZIRLO Clad				
* Oxide Coating on Clad				
* Variable Pitch Plenum Spring				
* ZIRLO Mid Grids				
* Top Grid with low cobalt sleeve				
* Protective Grid (P-grid)				
* ZIRLO Intermediate Flow Mixing (IFM) Grids				
* ZIRLO Guide Thimbles & Instrument Tubes				
* Z+2 Guide Thimble Design				
燃料棒型式				
	Blanket 型式	長度	濃縮度 (w/o)	IFBA
ADU	Solid	6 吋	2.60	N/A
IFBA	Annular	6 吋	2.60	1.5X
燃料棒尺寸				
護套外徑 (inch)	0.3600 ± 0.0015	護套內徑 (inch)	0.3150 ± 0.0015	
氣室 plenum 長度 (inch)	7.730 +0.45/-0.50	燃料棒全長 (inch)	152.870 +0.550/-0.350	
燃料丸 pellet 外徑 (inch)	0.3088 ± 0.0005	燃料丸長度 (inch)	0.370 ± 0.025	
Blanket 外徑 (inch)	0.3088 ± 0.0005	Blanket 長度 (inch)	0.500 ± 0.025	
IFBA Blanket 環狀直徑 (inch)		0.155 +0.0001/-0.0005		

三、製造服務加工流程介紹

哥倫比亞製造廠房緊鄰辦公區如圖 11 之相對位置圖，其中製造廠房再分為兩區塊，分別為進行將濃縮鈾之六氟化鈾(UF₆)型式轉化為二氧化鈾(UO₂)，再將二氧化鈾粉末乾燥、壓製、燒結成燃料丸，主要進行化學過程，帶有些微放射性之輻射區，以及進行燃料棒組裝、燃料元件製造及燃料束組裝，主要為物理作業之組裝區。詳細製造廠房工作區域配置圖面可參考圖 12。

哥倫比亞製造廠在接收到批次燃料製造訂單後，將安排該批次之製造排程，本公司依規定於製造交貨前 2 個月提交濃縮鈾後，製造廠即開始進行製造加工，為期約需 2 個月。其大致流程為將濃縮鈾轉化、壓製燃料丸、燃料棒組裝、燃料元件製造、燃料束組裝，完成後裝入運輸箱準備交貨。製造服務加工流程可參考圖 13。

(一) 濃縮鈾轉化

濃縮鈾自濃縮廠交貨至製造廠的運輸過程中，係以固體或液體型式裝載於圓桶(cylinder)，為了進行脫氟過程使 UF₆ 轉化為 UO₂，進行蒸氣加熱過程，使氣態之 UF₆(gas)水解成為氟化鈾鹽 UO₂F₂ 及氫氟酸 HF 後，加入氫氧化銨 NH₄OH (即俗稱之氨水)使其成為重鈾酸銨(NH₄)₂U₂O₇，沉澱後的狀態有如黃橙色果凍般的固液態混合，經過乾燥、鍛燒後，加熱成為 UO₂·2UO₃ 的混合物，最後加入氫氣將剩餘的 UO₃ 還原成墨綠色的 UO₂ 粉末。此稱之為濕式轉化法，轉化流程可參見圖 14。

(二) 燃料丸

還原成的 UO₂ 粉末以小圓桶裝方式暫存及運送，仍須依照設計所需的濃縮度進行混合(blending)，調製好的適當濃縮度 UO₂ 粉末在經過壓製、燒結，並進行研磨後即成為燃料丸(pellet)，並經過目視檢查(inspection)，以確保沒有缺陷或瑕疵，此時的燃料丸外觀如

黑色般的小圓柱狀，直徑 0.3088 inch、長度 0.370 inch(若為 blanket pellet 則直徑不變、長度為 0.500 inch)。

若為可燃毒物 IFBA pellet，則再送往中子吸收材料塗層加工，進行 Zirconium Diboride, ZrB₂ 之硼化鋁鍍膜，以紫外線爐加熱固化後，成為外觀略呈現灰色的 IFBA 燃料丸，同時透過燃料丸檢查以確保品質。目前 IFBA pellet 檢查系統使用西屋最新之自動化檢查系統 APVIS (Automated Pellet Visual Inspection System)。

(三) 燃料棒組裝

燃料丸準備完成後，即可準備進行燃料棒裝填。首先，將西屋位於 Blairsville, PA 的 SMP 廠(Specialty Metals Plant)生產之鋁合金燃料護套(ZIRLO Cladding)進行雷射標示(barcoding)，以利後續電腦化流程各項資料紀錄所需，進行下端塞(bottom end plug)圍焊並進行超音波檢查，確認焊接無誤，接下來進行燃料護套下端 6 吋長之氧化膜熱處理(oxide coating)，以提高護套抗磨蝕之強度。

燃料丸裝填依照所需之燃料型式(濃縮度及是否為 IFBA rod)進行，頂部及底部兩端各 6 吋部份為濃度為 2.60 w/o 之 blanket pellet (如為 IFBA rod，則 blanket pellet 為環形中空以容納硼吸收中子後產生之氬氣，如非 IFBA rod，則為實心之 blanket pellet)。

燃料丸裝填完畢後，填裝氣室彈簧(plenum spring)、上端塞(top end plug)圍焊、充氬氣及封焊，最後進行超音波檢驗及加馬射線檢驗(確認燃料有效長度及氣室)，即完成燃料棒組裝。燃料棒組裝所需之相關組件可參考圖 15。

(四) 燃料元件製造

燃料元件包含燃料骨架(skeleton)、格架(grid)、混流板(Intermediate Flow Mixing, IFM)、頂部管嘴(Removable Top Nozzle, RTN)、底部管嘴(Debris Filter Bottom Nozzle, DFBN)及儀器導管(Guide Thimbles & Instrument Tubes)等。

其中頂部管嘴 RTN 係提供燃料挪移時，燃料吊車抓鉤之施力點，為可更換式零組件，若有損壞可進行維修；底部管嘴 DFBN 則位於燃料底部，提供下方水流入口處爐屑過濾之功能，避免爐屑隨水流進入燃料棒間隙，造成磨蝕及燃料破損；混流板 IFM 的功能則提供更好的混流效果，於燃料束第 4、5、6、7 組燃料格架間，各設置一組 IFM，增加緩和劑之混合效果。上述相關燃料元件之焊接、組裝等工作均在哥倫比亞製造廠中進行。

(五) 燃料束組裝

整束 PWR 燃料係由 skeleton 負責載重，其他各部組件則安裝於 skeleton 之上，如圖 16 燃料束元件組成圖所示。燃料兩側分別為頂部管嘴 RTN 及底部管嘴 DFBN，由下至上分別為保護格架 (Protective Grid, P-grid) 及第 1 至 8 組間格板格架，其間穿插有 3 組混流板格架 (IFM grid)。其中，第 1 組及第 8 組格架另又稱為 bottom grid 及 top grid，第 2 至 7 組格架則稱為 mid grid。相關組件之尺寸示意圖可參考圖 17。

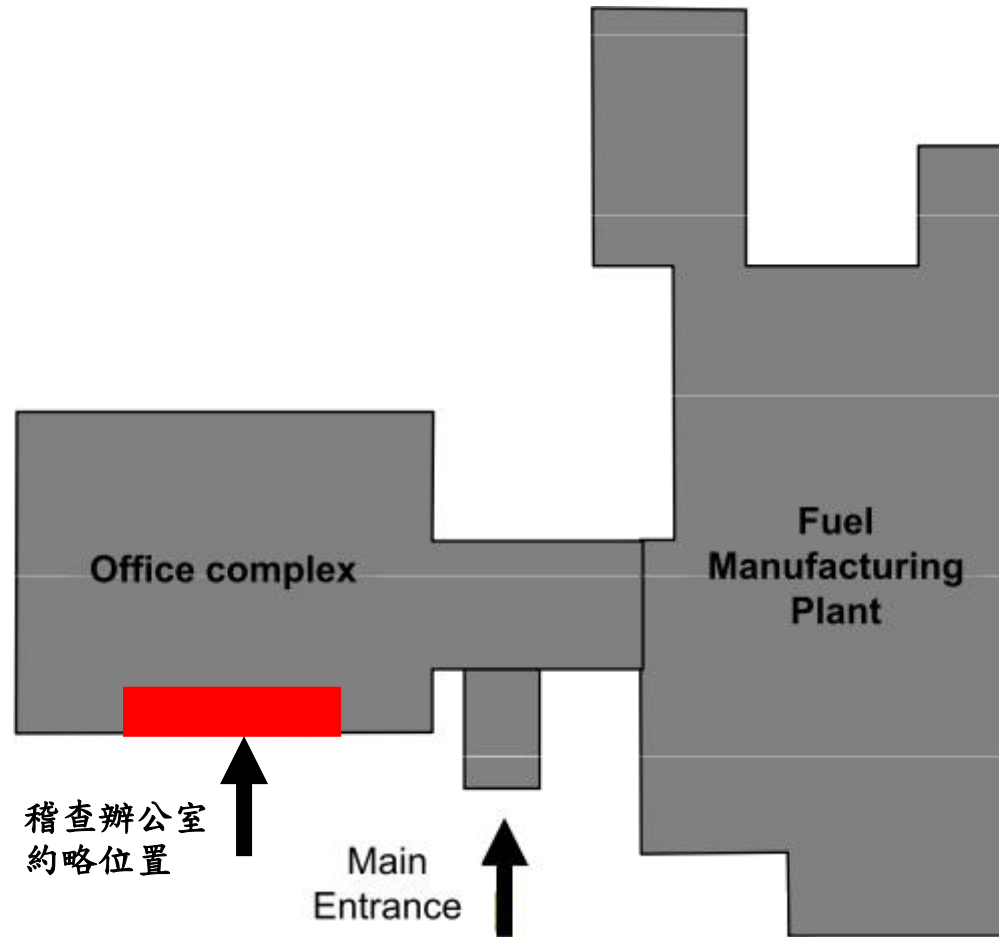


圖 11、西屋公司美國哥倫比亞廠辦公區及製造廠房相對位置圖

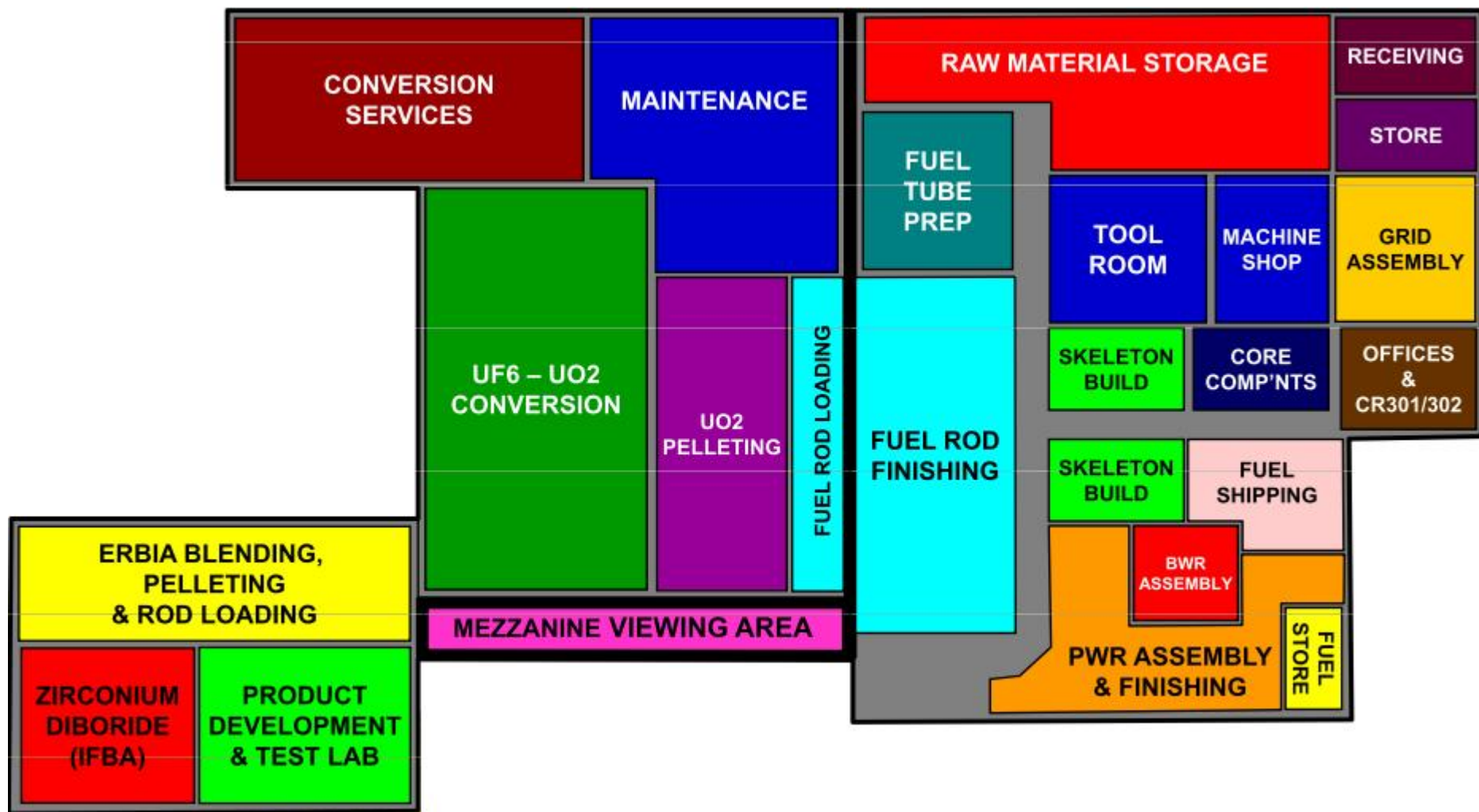


圖 12、西屋公司美國哥倫比亞製造廠房示意圖

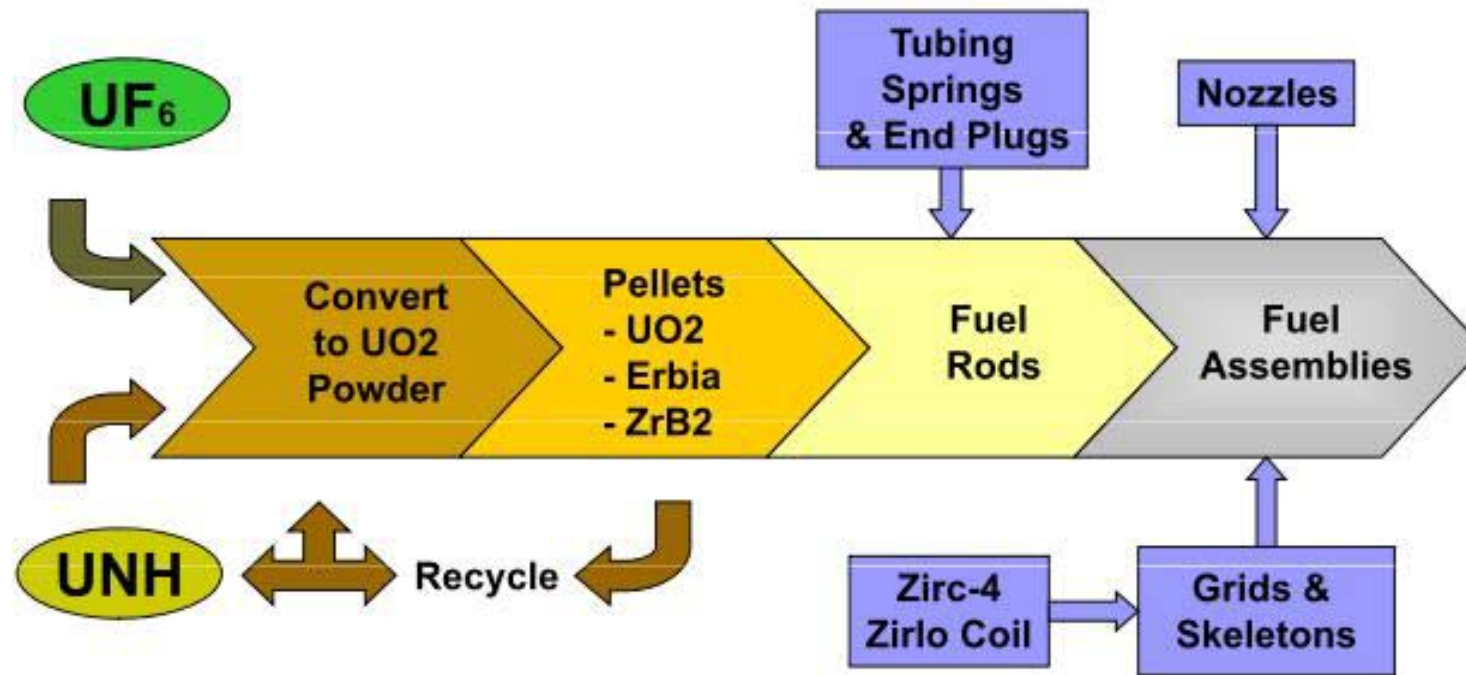


圖 13、西屋公司核燃料製造服務加工流程圖

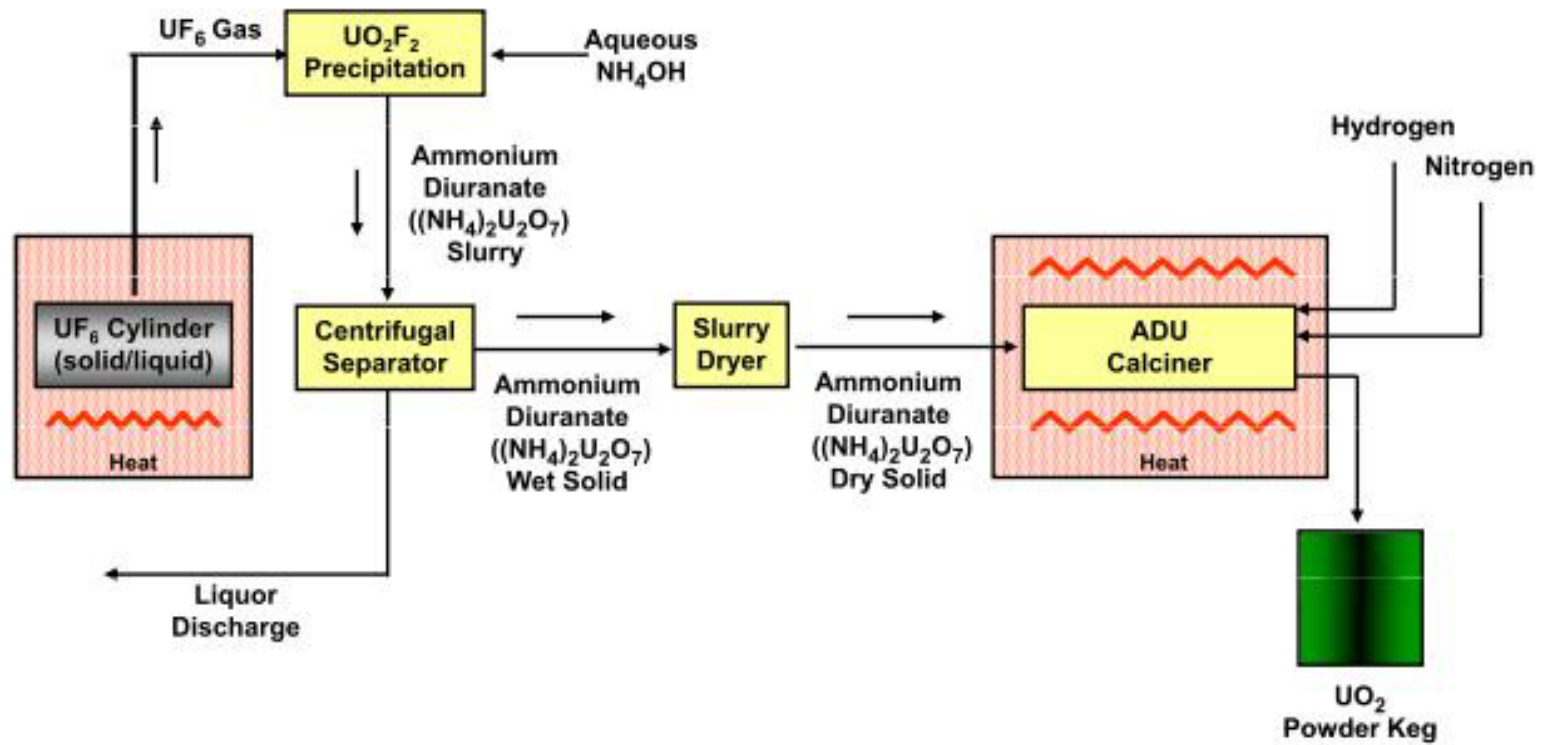


圖 14、西屋公司製造服務濃縮鈾轉化為二氧化鈾粉末流程圖

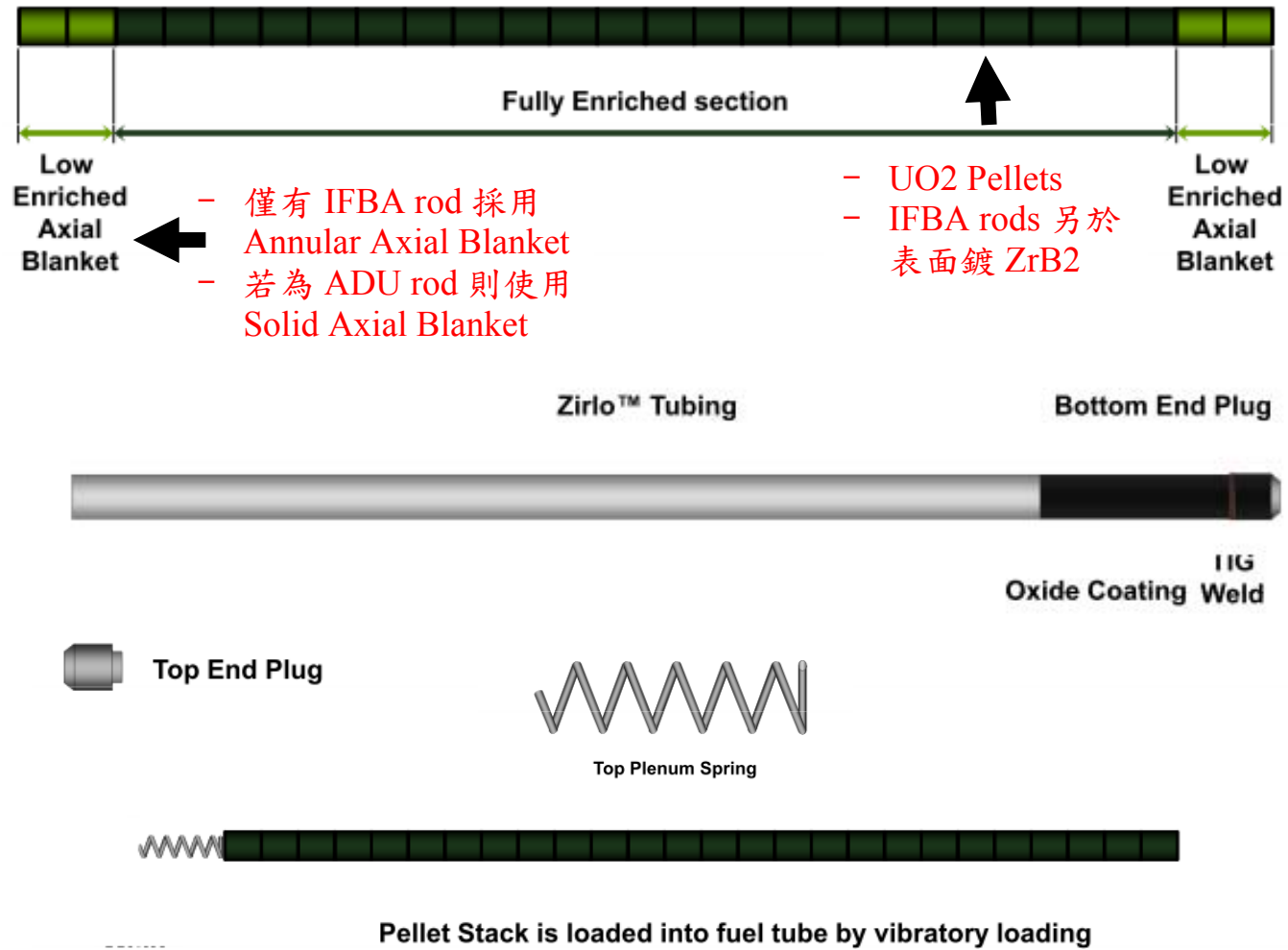


圖 15、燃料棒元件組成

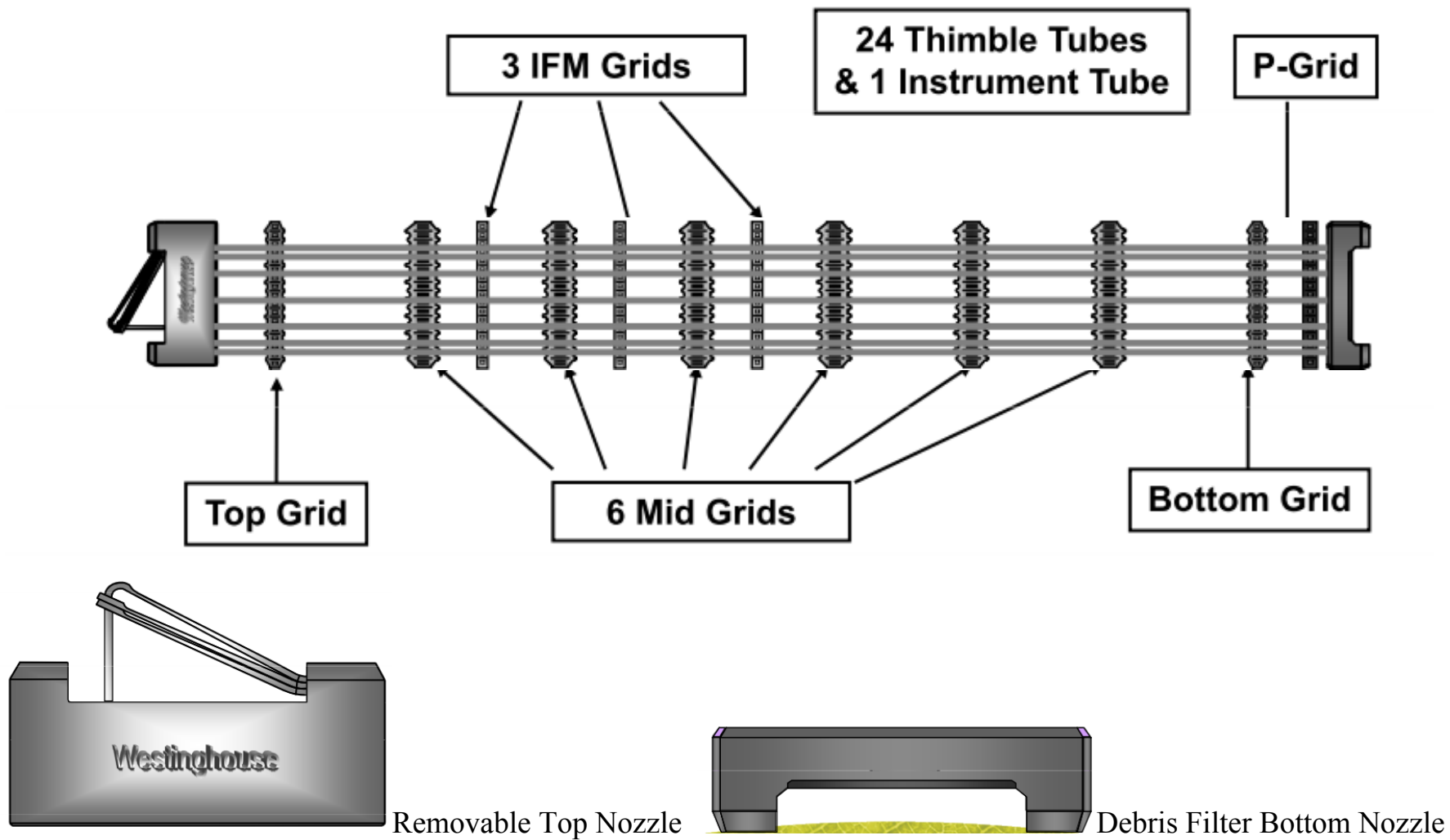


圖 16、燃料束元件組成

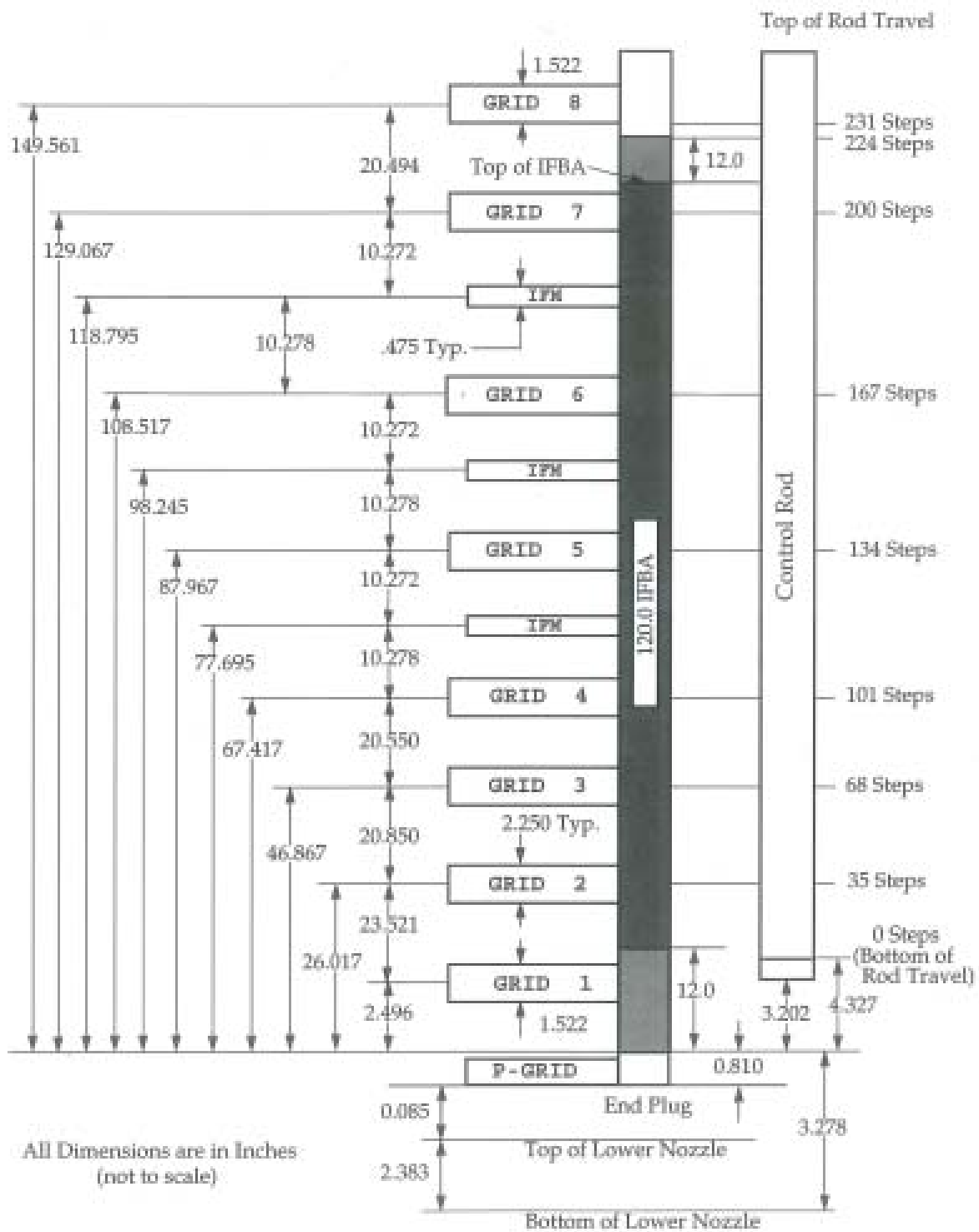


圖 17、本公司採用之 PWR 核燃料元件結構尺寸

伍、實習成果

此次前往西屋公司匹茲堡總部及哥倫比亞製造廠，進行為期 6 週的實習之中，已經初步瞭解該公司 PWR 填換核燃料多週期設計分析的設計流程，以及爐心填換設計、燃料製造交貨至實際填換使用階段，各相關部門之介面關係。

透過與西屋公司工程師配合進行 MS2R22 批次燃料的多週期設計分析作業，對於渠所採用之程式集亦有基本的認識，惟因時間有限，且西屋公司對於此次實習僅限於從旁學習，以工程師實際操作的方式同時進行教學，並未能有獨立進行設計之機會，所幸藉由提問、討論及研讀有關燃料佈局之設計指引，亦已對於爐心佈局設計之策略獲益良多。

另能夠前往製造廠房現場觀摩加工過程則是難得的機會，濃縮鈾從轉化、壓製、燒結成燃料丸，可燃毒物 IFBA 燃料丸的鍍硼，燃料棒裝填及封焊，燃料元件焊接及組裝等，燃料製造流程的實地瞭解與近距離觀察，有助於理解燃料設計及爐心裝填對於中子物理、熱水力設計及機械設計上的各項需求。

此外，本次實習過程中，西屋公司提供相當多屬內部文件之課程資料及技術文件 METCOM (Methodology Communication) 作為實習之研讀資料，渠表示該等技術機密之資料屬西屋公司智慧財產，僅限定於西屋公司內閱覽，複印之紙本不能攜出亦無法提供電子檔，惟經與渠專案經理討論後，未來如有需要，可前往西屋公司之台北分公司，透過網路連結至渠內部文件伺服器 EDMS 進行翻查。本次實習有關爐心填換設計方法之部分內容作中文摘譯如附件 4（本附件不上傳）。

陸、心得與建議事項

- 一、 就比較 PWR 及 BWR 兩種不同燃料型式之多週期設計分析，由於燃料尺寸及反應器類型不同，在燃料設計及爐心填換使用上也各異其趣。相對於 BWR 燃料來說，PWR 由於燃料尺寸大、數量少，單相流的緩和劑使爐心熱水力設計單純，且運轉過程中控制棒幾乎全出，僅以硼酸濃度調節功率，故 PWR 燃料設計上較簡單，採整束燃料單一濃縮度（僅頂部及底部採低濃縮度作為反射體），而無晶格(lattice)設計變化，以高低濃縮度不同，輔以可燃毒物的 IFBA 燃料抑低功率尖峰，然而正因為燃料設計較少變化，在可選用之燃料類型較少的情況下，燃料佈局之挪移及旋轉調動上則更需要經驗及技巧，以使反應度分佈符合需要，爐心功率得以平均分佈。

由此可知，核燃料晶格設計與多週期分析技術必須實際進行工作、累積設計經驗，方能驗證理論並建立技術，尤其是在找尋設計之最佳解時，若不加以多方嘗試更是難竟全功。目前國內僅核能研究所擁有相關技術及類似程式集可進行分析，本公司前亦曾經委託核能研究所進行先期之可行性研究，若未來能向西屋公司引進相關程式集或繼續邀請核能研究所進行合作研究，則更能夠發展我國自主核燃料晶格設計與多週期分析技術之能力。

- 二、 西屋公司對於內部文件的管理，包含共同使用性質的技術文件，或是針對各核能機組專用之營運資料、燃料設計及製造通知，均利用電子文件管理系統 EDMS 進行統整，這對於業務單位遍及全球各地的西屋公司來說，透過全球共通之文件伺服器，可以確保各部門間採用資料時的一致性，並可有效縮短資料傳遞的時間。此雲端資訊之文件共享系統同樣可以運用在本公司全臺各地之業務單位間，惟如何避免駭客入侵或電腦病毒亦透過此系統傳播，則另為需優先考慮之課題。

三、經過 101 年、102 年連續兩年派員前往 AREVA NP 公司及 WH 公司，分別針對 BWR 及 PWR 燃料之多週期設計分析技術進行實習，已為本公司在進行填換核燃料採購時，對於廠家提供之多週期分析報告，建立更為完整的審查能力，相信也同時能夠在兼顧機組安全及穩定運轉的前提下，提高核燃料採購的經濟效益，對即將面臨除役之核一、二、三廠來說，希望透過與廠家工程師之討論，採用最佳的爐心營運及燃料採購策略，以因應除役前數週期爐心填換設計之困難。

另有關仍在興建中之龍門電廠，由於採用的是 GNF-A 公司（前身即 GE 公司）的 ABWR 燃料，未來若能在預算經費許可及人力資源充足之情況下，亦應再派員前往以瞭解該公司之多週期設計分析技術，提昇本公司人員相關之技術及專業能力。

附件資料

1. 西屋公司爐心填換設計程式碼說明資料
2. 西屋公司 MS2CY23 多週期設計分析報告 NF-TWP-13-38
3. 契約及技術資料 (Contract And Technical Data, CATD)
4. 西屋公司技術文件中譯資料 (廠家機密)

參考資料

1. 西屋公司內部訓練資料
NE-221 – PWR Reload Process & Internal Interfaces _ Foundation Training
2. 西屋公司內部訓練資料
NE-422 – PWR Fuel Management _ Foundation Training
3. 西屋公司技術文件資料 METCOM Chapter 5 Loading Pattern
 - 5.0 Introduction to Loading Pattern (Rev. 52, 11/12)
 - 5.2 Fuel Selection (Rev. 43, 9/09)
 - 5.3 Fuel Loading and Burnable Absorber Patterns (Rev. 46, 9/10)
 - 5.4 Burned Fuel Distribution and Fresh Fuel Randomization (Rev. 46, 9/10)
4. ERI 市場報告 2013 Nuclear Fuel Cycle Supply and Price Report,
ERI-2006-1301

附件 1 西屋公司爐心填換設計程式碼說明資料

NRC APPROVED CODES

“Qualification of the PHOENIX-P / ANC Nuclear Design System for Pressurized Water Reactors” (PHOENIX/ANC), WCAP-11596-P-A, Approved by the NRC on May 17, 1988.

“ANC – A Westinghouse Advanced Nodal Computer Code” (ANC), WCAP-10965-P-A, Approved by the NRC on June 23, 1986.

“APOLLO – A One Dimensional Neutron Diffusion Theory Program” (APOLLO), WCAP-13524-P-A, Revision 1-A, Approved by the NRC on June 9, 1997.

CODE DESCRIPTIONS

ALPHA

- ALPHA (Automated Linkage of PHOENIX-P and ANC)
- Prepares and executes PHOENIX-P calculations for both feed and burned assemblies
- Creates ANC input from PHOENIX-P databanks
 - Data for nodal solution
 - Feedback-free macroscopic cross sections
 - Micros for fission products, water, boron, actinides
 - Discontinuity factors
 - Data for pin power reconstruction
 - Pin factor file generation

PHOENIX-P

- 2D transport lattice calculation
- Provides isotopic composition of fuel as a function of depletion
- Generates 2 group macroscopic & 2 group microscopic cross sections
- Generates Doppler feedback
- Data from rodwise power distribution calculation used for pin power reconstruction in ANC

ANC

- ANC (Advanced Nodal Code)
- Multidimensional nodal code (3D, 2D, 1D)
- Calculates
 - Core reactivity
 - Assembly power and burnups
 - Rodwise powers and burnups
 - Reactivity coefficients
 - Core depletion
 - Control rod and fission product worths

附件 1 西屋公司爐心填換設計程式碼說明資料

ALAMO

- ALAMO automates the LP Modeling Process
 - Input to ALAMO describes the ANC model and cycle depletion
 - Sets up input for ALPHA-PHOENIX (microscopic UA depletion) to be consistent with expected ANC (macroscopic depletion) cycle burnups
 - Sets up ANC model geometry consistent with ALPHA UAs
 - Sets up ALPHA cold and rodded branch cases
 - ALAMO output designed for model diagnostics and Calc Note (QA) verification of ANC model
- Follows ALPS Loading Pattern Search
 - ALPS creates basic ALAMO input when generating new LP

ANCHOR

- Two main functions of ANCHOR code:
 - Provides a comprehensive check of the current BOC ANC model
 - Generates a Core Loading Plan (CLP) for transmittal to the customer and manufacturing
- Works for:
 - Westinghouse, Combustion Engineering, and VVER-1000 cores
- Checks:
 - Assembly shuffles, assembly IDs, IFBA and discrete BA patterns and loadings
 - Consistency of node burnups, pin burnups, IFBA and BA fractions remaining, and fission product concentrations between end of previous cycle and beginning of this cycle

APOLLO

- 1D axial 2-group neutron diffusion (finite difference) code
 - Very fast with usually finer axial mesh structure than ANC model
- Generated from ANC depletion model
 - Cross sections are fits of ANC cross sections sets
 - Radial buckling search for consistent results to ANC model
 - Feedbacks include xenon and Doppler
- Many automated sequences
 - Core Depletion
 - Differential / Integral control rod worth
 - Trip reactivity
 - RAOC and CAOC
 - Control rod operation limits (rod insertion allowance)
 - Many others



Westinghouse Electric Company
Nuclear Fuel
1000 Westinghouse Drive
Cranberry Twp, Pennsylvania 16066
USA

Mr. George Hsu
Director, Department of Fuels
Taiwan Power Company
9F, 242 Roosevelt Road
Taipei 100, Taiwan,
Republic of China

Direct tel: 1-412-374-5679
Direct fax: 1-724-720-0859
e-mail: coregm@westinghouse.com

Our ref: NF-TWP-13-38

June 11, 2013

TAIWAN POWER COMPANY
Maanshan Unit 2 Fuel Region 25 (TXKQ)
Enrichment Recommendations and Discharge Burnup Analysis Results
Contract: TPC-MS-FAB-02 (Maanshan Plants)

Reference: NF-TWP-13-25 (FDN130401Q), "The Delivery date and fabrication requirements estimate for the multi-cycle analysis of MS2R22 reload batch Contract No. TPC-MS-FAB-02," April 11, 2013.

Dear Mr. Hsu:

Attached are the quantities and enrichment recommendations for the Maanshan Unit 2, Cycle 23, Region 25 feed fuel for your consideration in confirming your fabrication requirements described in the above reference. The fuel management analysis is also included in the attachment.

As always, we are pleased to serve you. Please let me know if you have any questions or need any additional information.

Sincerely,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Gregory M. Core'.

Gregory M. Core
Engineering Project Manager
Core Engineering

Attachment (CE-13-387, 31 pages)

cc: D. F. Lin, Director, Department of Nuclear Generation
Catherine Pan – Westinghouse, Taipei
D. S. Wenzel – Westinghouse, Cranberry
G. R. Williams – Westinghouse, Cranberry

This document is the property of and contains Proprietary Information owned by Westinghouse Electric Company LLC and/or its subcontractors and suppliers. It is transmitted to you in confidence and trust, and you agree to treat this document in strict accordance with the terms and conditions of the agreement under which it was provided to you.

©2013 Westinghouse Electric Company LLC. All rights reserved.

"Electronically Approved Records Are Authenticated in the Electronic Document Management System"



Attachment 1
Maanshan Unit 2 Region 25 (TXKQ) Enrichment Recommendation
(31 Pages)

June 2013

Prepared: Shuang Du (ND)
Nuclear Design B

Verified: Ernest F. Shockey (ND)
Nuclear Design B

Approved: Gregory R. Williams, Manager
Nuclear Design B

"Electronically Approved Records Are Authenticated in the Electronic Document Management System"

This document is the property of and contains Proprietary Information owned by Westinghouse Electric Company LLC and/or its subcontractors and suppliers. It is transmitted to you in confidence and trust, and you agree to treat this document in strict accordance with the terms and conditions of the agreement under which it was provided to you.

Maanshan Unit 2 Region 25 (TXKQ) Enrichment Recommendation

References:

1. *"The Delivery date and fabrication requirements estimate for the multi-cycle analysis of MS2R22 reload batch Contract No. TPC-MS-FAB-2" Facsimile Dated 04/11/2013*
2. *"Westinghouse Electric Company Commercial and Technical Proposal Nuclear Fuel Fabrication Services for Taiwan Power Company Maanshan Plant", TPC-MS-FAB-2, December 2006*

Units used in the following figures and tables are per the below unless otherwise noted:

- Enrichment is in weight percentage U-235
- Burnup is in Mega-Watt-Days per Metric Ton Uranium (MWD/MTU)
- Power in fraction of Rated Thermal Power
- Boron is in ppm
- Cycle N refers to Cycle 23
- Cycle N+X refers to X Cycles after Cycle 23
- Cycle N-X refers to X Cycles before Cycle 23

The analysis for the enrichment recommendations for Region 25 VANTAGE+ assemblies for Maanshan Unit 2 has been completed. The required fuel for Unit 2 Cycle N based on requirements in Reference 1 is 48 assemblies at 4.60 w/o and 12 assemblies at 4.95 w/o (plus 8 assemblies at 4.95 w/o not used in previous cycles). The IFBA configurations for these assemblies are given in the attached Table 1. The analysis was based on the information provided in References 1 and 2 and used the following criteria:

1. Cycle N-2 energy of 18240 MWD/MTU (1211 GWD)
2. Cycle N-1 energy of 22555 MWD/MTU (1496 GWD)
3. Cycle N energy of 21495 MWD/MTU (1425 GWD)
4. Maximum rod burnup of 62000 MWD/MTU
5. Maximum enrichment 4.95 w/o
6. EOC (HFP ARO) boron concentration target of 30 ppm
7. ARO $F_{\Delta H}$ target of 1.495
8. Batch Average Burnup greater than 48,000 MWD/MTU

It was also necessary to analyze Unit 2 Cycle N-1 based on Taipower's Energy Utilization Plan (EUP), Revision 54A (Reference 1) to confirm that the onsite inventory would still be acceptable. Below are detailed results of the analyses.

Unit 2 Cycle N-1

This analysis required regenerating a 3D ANC model for Cycle N-1 based upon onsite inventory and the latest EUP energy requirements. The Cycle N-1 results are shown in Table 1 and the results indicate that 65 feed VANTAGE+ assemblies with 7964 IFBA rods are required. Additional Cycle N-1 results follow:

Cycle N-1 Length:	22555 MWD/MTU
End of Cycle boron concentration:	42 ppm
HZP MTC @ BOL:	3.518 pcm/°F (nominal window)
	4.018 pcm/°F (short window estimate)
ATWS MTC:	-7.632 pcm/°F (nominal window)
	-7.132 pcm/°F (short window estimate)

Maximum pin burnup is 58145 MWD/MTU at EOC for Cycle N-1. Please note that the values for Shutdown Margin (SDM) and End of Life (EOL) Hot Full Power (HFP) Moderator Temperature Coefficient (MTC) reported in Figure 6 are not explicitly calculated until the Reload Safety Analysis Checklist (RSAC). Based on historical performance, it is anticipated that they will meet the specified limits for the recommended Loading Pattern (LP).

Note also that the EOL boron concentration of 42 ppm exceeds the requested value of 30 ppm. The cycle energy for Cycle N-1 was greatly reduced from the time of enrichment setting (for Region 24), so the feed batch will provide more energy than is now required. In order to mitigate this issue, eight feed assemblies were held out from Cycle N-1 to be used in Cycle N instead. Loading patterns holding out an additional 4 once burned assemblies were examined for Cycle N-1; these patterns could not meet required safety, energy and CIPS parameters, and particularly peaking factors.

Unit 2 Cycle N

The Unit 2 Cycle N results are based on a 3D ANC model and are documented in Table 1. The results indicate that 68 VANTAGE+ feed assemblies with 7648 IFBA rods are required for Maanshan Unit 2 Cycle N.

The recommended fuel requires 48 4.60 w/o and 12 4.95 w/o fuel; also used are 8 fresh assemblies at 4.95 w/o from Unit 2 Region 24. The 4.60 w/o fuel uses three IFBA configurations: 48I, 128I, and 156I. The 4.95 w/o fuel uses two IFBA configurations: 48I, and 128I. The Unit 2 Region 24 fuel also uses 128I. Other Cycle N results follow:

Cycle N Length:	21495 MWD/MTU
End of Cycle boron concentration:	28 ppm
HZP MTC @ BOL:	1.930 pcm/°F (nominal window) 2.430 pcm/°F (estimated for short window)
ATWS MTC:	-9.096 pcm/°F (nominal window) -8.596 pcm/°F (estimated for short window)

Maximum pin burnup is 57794 MWD/MTU for Cycle N. Please note that the values for SDM and EOL HFP MTC reported in Figure 11 are not explicitly calculated until the RSAC. It is anticipated that they will meet the specified limits based on historical performance for the recommended loading pattern.

Fuel Management Results for Maanshan Unit 2, Region 25

- All energy requirements are met according to EUP Revision 54A in Reference 1.
- Region 25 discharge burnup is estimated to be 49476 MWD/MTU.
- 60 VANTAGE+ feed assemblies (plus 8 Unit 2 Region 24 assemblies) are required for Cycle N. The enrichment split has been optimized for required energy: 48 4.60 w/o assemblies and 12 4.95 w/o assemblies.
- Calculated feed region sizes for Cycles N+1 and N+2 are given in Table 2.
- Accumulative region burnups and discharge burnups are contained in Tables 2 and 3. There are no cycles with a maximum assembly burnup under an RCCA that is predicted to be greater than 57000 MWD/MTU. Note that Table 2 gives the maximum fuel assembly burnups for all assemblies in a given cycle, not just those in RCCA locations.
- Loading patterns and other operational data are given in Figures 1 to 15. Power Distribution Data, Expected Thermal/Reactivity Performance data, and the Depletion Summary are given only for Cycles N-1 and N.

Fuel Management Justification for Maanshan Unit 2, Region 25

The feed requirement from the fuel bid (Reference 2) for Cycle N was 64 assemblies. There were 24 assemblies at 4.60 w/o U-235 and 40 assemblies at 4.95 w/o U-235. The bid used 4928 IFBA rods to help control peaking and improve power distribution. The bid feed batch operated at a power level of 2775 MWth for 21371 MWD/MTU. The average batch discharge burnup for Regions 21-25 for the bid was 51996 MWD/MTU.

The best estimate feed requirement for Maanshan Unit 2 Cycle N is 68 assemblies, of which 48 are 4.60 w/o U-235 and 20 are 4.95 w/o U-235 (the latter include 8 assemblies from Unit 2 Region 24). The Cycle N enrichment setting requires the use of 7648 IFBA rods to help control peaking and improve power distribution. These enrichment setting feed assemblies achieved a cycle length of 21495 MWD/MTU at an uprated power level of 2822 MWth. The average batch discharge burnup for Regions 21-25 for the EUP is 49951 MWD/MTU.

The differences between the fuel bid and enrichment recommendations as well as justification are as follows:

1. Feed Region Size Difference

Cycle	Bid Feeds (4.60/4.95)	EUP 54A Feeds* (4.60/4.95)	Bid Energy (GWD)	EUP54A Energy (GWD)
N-2	64 (24/40)	60 (16/44)	1422	1211
N-1	65 (32/33)	65 (41/24)	1422	1496
N	64 (24/40)	68 (48/20)	1422	1425
N+1	65 (32/33)	69 (13/56)	1422	1496
N+2	64 (24/40)	72 (48/24)	1422	1513

*This value includes any assemblies from other regions and/or units; it reflects the number of feeds for the given cycle, which does not always correspond to the number of assemblies in the fuel region. See Table 3 for number of feeds by fuel region.

- a. The current EUP predicts a much higher energy requirement for Cycle N-1 than the bid. This means that once burned fuel will be less reactive in Cycle N, requiring more feed assemblies to help compensate.
- b. The current EUP has large cycle-to-cycle variations in energy, whereas the fuel bid had the same energy requirement in every cycle. The large variations seen can reduce fuel utilization and therefore require more feeds than a more stable set of energy requirements.
- c. Despite cycle-to-cycle variations, the sum of feeds required predicted by the feed compared to actuality is relatively consistent. Over Cycles N-2 through N+2, the enrichment setting uses 2.4 more feeds per cycle at a slightly lower average enrichment (4.78 w/o EUP vs. 4.80 w/o bid). This is reasonable for a EUP that has an average cycle energy requirement 0.44% higher than that in the bid with much greater cycle to cycle variations in energy.

2. Batch Average Burnup Difference

- a. The Table 3 average discharge burnup of 49951 MWD/MTU (for Regions 21-25) meets the Reference 1 requirement of 48000 MWD/MTU.
- b. The high energy requirements relative to the bid for Cycles N+1 and N+2 required larger than expected numbers of feeds for these cycles; this resulted in multiple once-burned assemblies needing to be placed on the periphery, thereby lowering fuel utilization and discharge burnups.
- c. The bid assumes equilibrium cycles of 1422 GWD. Consistent equilibrium cycles allows for better planning and more efficient fuel management. Changes in energy requirements across energy utilization plans as well as changes in the oscillations between cycles require changes in fuel management that are disadvantageous toward discharge burnup.

Table 1
Feed Fuel Requirements

Unit 2 Cycle N

Unit 2 Cycle N Energy Requirement (EUP 54A): 21495 MWD/MTU

Based on a Cycle N-1 EOC Burnup of: 22555 MWD/MTU

<u>ASSEMBLY</u> <u>NAMES</u>	<u>ENRICH</u>	<u>#IFBA</u>	<u>#ASSEMBLIES</u>	<u>TOTAL IFBA</u>
X101-X108	4.60	48l	8	384
X109-X140	4.60	128l	32	4096
X141-X148	4.60	156l	8	1248
X149-X156	4.95	48l	8	384
X157-X160	4.95	128l	4	512
W162-W169	4.95	128l	8*	1024

Total: 68 Feeds 7648

* These eight assemblies are Unit 2 Region 24 feeds that were not used in Cycle N-1.

Unit 2 Cycle N-1

Unit 2 Cycle N-1 Energy Requirement (EUP 54A): 22555 MWD/MTU

Based on a Cycle N-2 EOC Burnup of: 18240 MWD/MTU

<u>ASSEMBLY</u> <u>NAMES</u>	<u>ENRICH</u>	<u>#IFBA</u>	<u>#ASSEMBLIES</u>	<u>TOTAL IFBA</u>
W101-W108	4.60	128l	8	1024
W109-W141	4.60	156l	33	5148
W142-W161	4.95	80l	20	1600
V129-V132	4.95	48l	4*	192

Total: 65 Feeds 7964

* These four assemblies are Unit 2 Region 23 feeds that were not used in Cycle N-2.

Note that assemblies W162-W169 are not used in Cycle N-1 due to revised energy requirements, and are instead feed assemblies in Cycle N.

Table 2
Accumulative Region Burnups

Region	# of F/A	N-3	N-2	N-1	N	N+1	N+2
20A	4	48043					
20B	8	52287					
20B	8	47645					
20B	4	39773	47095	54005			
21A	20	51825					
21A	8	37173	53913				
21A	12	38880	45690				
21A	4	39510			47592		
21B	16	52733					
21B	4	25278	44425	51612			
22A	28	29118	48062				
22A	1	28686	45162				
22A	12	25261	35270	46310			
22B	8	27928	47401				
22B	12	27285	42286	50655			
22B	4		21098	47496	54506		
22B	4		21067	47543			
23A	4		22389	33437	42398		
23A	12		24492	48767			
23B	24		24411	50703			
23B	4		20438	39492	47291		
23B	8		20682	45981	53053		
23B	4			24451	48485		
23A1	8	30077	49318				
24A	29			28481	51703		
24A	12			30574	42912	50072	
24B	12			26923	50496		
24B	4			22629	46726	54136	
24B	4			22748	40847	49614	
24B	8				27399	52757	
25A	24				27871	52008	
25A	12				24043	45506	
25A	8				29146	39617	47225
25A	4				28648	42727	50198
25B	8				25202	48695	
25B	4				24451	44017	51538
26A	12					29590	42399
26A	1					27544	50936
26B	28					29796	54574
26B	16					24646	50109

26B	12				28506	42163	
27A	44					29692	
27A	4					25717	
27B	8					28571	
27B	16					24381	
Cycle Burnup		22285	18240	22555	21495	22605	22870
Cycle Energy (GWD)		1479	1211	1496	1425	1496	1513
Max Assembly Burnup		53269	54377	54005	54506	54136	55316

Table 3
Discharge Burnup Summary

Region	Region Burnup	Sub-Region	Number of Assemblies	w/o	Sub-Region Burnup	Number of Assemblies	Discharge Cycle	Burnup						
21	50885	21A	44	4.60	50147	20	N-3	51825						
						8	N-2	53913						
						12	N-2	45690						
						4	N	47592						
		21B	20	4.95	52508	16	N-3	52733						
						4	N-1	51612						
						22	48433	22A	41	4.60	47478	28	N-2	48062
												1	N-2	45162
22B	28	4.95	49831	12	N-1	46310								
				8	N-2	47401								
				12	N-1	50655								
				4	N	54506								
23	49590	23A	16	4.60	47175	4	N-1	47543						
						12	N	42398						
						23B	40	4.95	50610	24	N-1	48767		
										4	N-1	50703		
		23A1*	8	4.60	49318	4	N	47291						
						8	N	53053						
						4	N	48485						
						8	N	49318						
24	51352	24A	41	4.60	51226	8	N-2	49318						
						29	N	51703						
		24B	28	4.95	51536	12	N+1	50072						
						12	N	50496						
						4	N+1	54136						
						4	N+1	49614						
25	49476	25A	48	4.60	49435	8	N+1	52757						
						24	N+1	52008						
						12	N+1	45506						
						8	N+2	47225						
		25B	12	4.60	49642	4	N+2	50198						
						8	N+1	48695						
						4	N+2	51538						

*Assemblies manufactured as part of a Unit 1 fuel region

Figure 1
Cycle N-2 Burnup Distribution

EOC	AVERAGE ASSEMBLY BURNUP							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	45162	46699	24698	49258	44425	49378	22389	38524
2	46699	43009	48804	24680	53907	24387	21098	45469
3	24698	48799	24725	48642	47515	23870	41955	
4	49258	24675	48616	24746	47395	20438	47095	
5	44425	53919	47357	47406	21026	33659		
6	49378	24363	23796	20337	33627			
7	22389	21067	41893	46279				
8	38524	45323						

Figure 2
Cycle N-1 Loading Pattern

BURNED FUEL: PRIOR CYCLE LOCATION, PRIOR CYCLE

FEEDS : ENRICHMENT, IFBA

Locations Specified Below in Quarter Core

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	4.60 156l	(3, 3) 21	4.60 156l	(4, 4) 21	4.60 156l	(3, 1) 21	4.60 156l	(7, 1) 21
2	(3, 3) 21	(5, 5) 21	(2, 6) 21	4.60 156l	(2, 4) 21	4.60 156l	4.95 80l	(8, 1) 21
3	4.60 156l	(6, 2) 21	4.60 156l	(3, 6) 21	(2, 7) 21	4.95 80l	(5, 6) 21	
4	(4, 4) 21	4.60 156l	(6, 3) 21	(6, 4) 21	4.60 128l	4.95 80l	(4, 7)** 21	
5	4.60 156l	(4, 2) 21	(7, 2) 21	4.60 128l	(4, 6) 21	(3, 7) 21		
6	(3, 1) 21	4.60 156l	4.95 80l	4.95 80l	(7, 3) 21			
7	4.60 156l	4.95* 48l	(6, 5) 21	(5, 1) 21				
8	(7, 1) 21	(2, 2) 21						

*Region 23B2 assemblies. Note that these have a different number of IFBA rods than the eighth-core partners.

** These assemblies are in their fourth cycle; they will be replaced with third-cycle fuel in the actual LP.

<u>ASSEMBLY</u> <u>NAMES</u>	<u>ENRICH</u>	<u>#IFBA</u>	<u>#ASSEMBLIES</u>	<u>TOTAL IFBA</u>
W101-W108	4.60	128l	8	1024
W109-W141	4.60	156l	33	5148
W142-W161	4.95	80l	20	1600
V129-V132	4.95	48l	4*	192
Total:			65 Feeds	7964

* These four assemblies are Unit 2 Region 23 feeds that were not used in Cycle N-2.

Note that assemblies W162-W169 are not used in Cycle N-1 due to revised energy requirements, and are instead feed assemblies in Cycle N.

Figure 3
Cycle N-1 Burnup Distribution

<u>BOC</u>	AVERAGE ASSEMBLY BURNUP							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	24725	0	24746	0	24698	0	22389
2	24725	21026	24387	0	24680	0	0	38524
3	0	24363	0	23870	21098	0	33659	
4	24746	0	23796	20337	0	0	47095	
5	0	24675	21067	0	20438	41955		
6	24698	0	0	0	41893			
7	0	0	33627	44425				
8	22389	43009						

<u>EOC</u>	AVERAGE ASSEMBLY BURNUP							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	27569	48012	29373	51521	30945	50936	25273	33437
2	48012	45706	49148	30360	51102	29676	23996	46100
3	29373	49140	29718	49739	47496	28280	46344	
4	51521	30417	49678	46256	27850	22629	54005	
5	30945	51241	47543	27801	39492	50662		
6	50936	29904	28494	22748	50645			
7	25273	24451	46485	51612				
8	33437	50657						

Figure 4
Power Distribution Data – Cycle N-1

ASSEMBLY AVERAGE POWER AND F DH, BURNUP = 150 MWD/MTU

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.324	1.258	1.316	1.260	1.236	1.075	0.836	0.372
	1.382	1.309	1.383	1.315	1.323	1.164	1.060	0.598
2	1.258	1.350	1.259	1.308	1.226	1.110	0.852	0.253
	1.309	1.443	1.319	1.380	1.315	1.285	1.098	0.505
3	1.316	1.261	1.344	1.325	1.306	1.203	0.500	
	1.383	1.321	1.415	1.409	1.430	1.413	0.831	
4	1.260	1.316	1.330	1.354	1.226	0.952	0.270	
	1.315	1.385	1.413	1.414	1.402	1.321	0.615	
5	1.236	1.247	1.323	1.230	0.881	0.370		
	1.323	1.338	1.414	1.399	1.260	0.763		
6	1.075	1.149	1.242	0.972	0.375			
	1.164	1.326	1.454	1.340	0.770			
7	0.836	0.945	0.531	0.292				
	1.060	1.210	0.883	0.643				
8	0.372	0.268						
	0.598	0.549						

Figure 4 (Continued)
Power Distribution Data – Cycle N-1

ASSEMBLY AVERAGE POWER AND F DH, BURNUP = 5000 MWD/MTU

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.227	1.065	1.331	1.240	1.397	1.162	1.017	0.426
	1.262	1.115	1.403	1.290	1.455	1.236	1.208	0.692
2	1.065	1.139	1.145	1.383	1.212	1.286	0.988	0.287
	1.115	1.233	1.204	1.443	1.270	1.373	1.254	0.581
3	1.331	1.146	1.354	1.196	1.205	1.250	0.523	
	1.403	1.206	1.405	1.253	1.287	1.416	0.882	
4	1.240	1.389	1.198	1.195	1.230	0.964	0.271	
	1.290	1.449	1.256	1.261	1.356	1.286	0.613	
5	1.397	1.225	1.215	1.232	0.825	0.354		
	1.455	1.278	1.319	1.353	1.167	0.727		
6	1.162	1.314	1.275	0.977	0.357			
	1.236	1.400	1.446	1.294	0.732			
7	1.017	1.043	0.541	0.290				
	1.208	1.323	0.911	0.633				
8	0.426	0.296						
	0.692	0.617						

Figure 4 (Continued)
Power Distribution Data – Cycle N-1

ASSEMBLY AVERAGE POWER AND F DH, BURNUP = 11000 MWD/MTU

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.186	0.989	1.296	1.181	1.413	1.192	1.170	0.500
	1.239	1.036	1.387	1.229	1.478	1.237	1.348	0.799
2	0.989	1.050	1.074	1.359	1.175	1.368	1.105	0.339
	1.036	1.149	1.130	1.442	1.227	1.458	1.369	0.669
3	1.296	1.074	1.311	1.120	1.150	1.273	0.567	
	1.387	1.131	1.378	1.170	1.213	1.435	0.925	
4	1.181	1.360	1.119	1.121	1.232	1.002	0.296	
	1.229	1.443	1.171	1.193	1.343	1.282	0.641	
5	1.413	1.179	1.150	1.228	0.828	0.373		
	1.478	1.230	1.250	1.334	1.127	0.736		
6	1.192	1.372	1.276	1.004	0.374			
	1.237	1.460	1.442	1.279	0.736			
7	1.170	1.117	0.571	0.310				
	1.348	1.379	0.928	0.650				
8	0.500	0.338						
	0.799	0.691						

Figure 4 (Continued)
Power Distribution Data – Cycle N-1

ASSEMBLY AVERAGE POWER AND F DH, BURNUP = 22555 MWD/MTU

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.220	1.007	1.258	1.111	1.311	1.140	1.222	0.596
	1.275	1.032	1.313	1.137	1.361	1.169	1.345	0.889
2	1.007	1.054	1.048	1.283	1.109	1.313	1.152	0.414
	1.032	1.138	1.080	1.335	1.140	1.374	1.346	0.755
3	1.258	1.049	1.262	1.082	1.113	1.252	0.633	
	1.313	1.080	1.315	1.112	1.177	1.356	0.931	
4	1.111	1.283	1.081	1.099	1.237	1.069	0.359	
	1.137	1.334	1.112	1.169	1.311	1.282	0.705	
5	1.311	1.108	1.110	1.234	0.896	0.446		
	1.361	1.139	1.195	1.304	1.132	0.802		
6	1.140	1.307	1.247	1.067	0.447			
	1.169	1.367	1.353	1.278	0.801			
7	1.222	1.141	0.629	0.372				
	1.345	1.334	0.924	0.705				
8	0.596	0.406						
	0.889	0.772						

Figure 5
Cycle N-1 Depletion Summary for F_Q , $F_{\Delta H}$, F_Z and AO

BU	POWER	BORON	F_Q	$F_{\Delta H}$	F_Z	AO
0	1.000	1847	1.962	1.470	1.293	15.78
150	1.000	1463	1.698	1.454	1.133	4.92
1000	1.000	1471	1.633	1.450	1.130	3.46
2000	1.000	1505	1.688	1.452	1.159	2.95
3000	1.000	1520	1.716	1.452	1.173	1.68
5000	1.000	1484	1.731	1.455	1.176	-1.11
7000	1.000	1387	1.762	1.480	1.169	-3.08
9000	1.000	1252	1.781	1.483	1.167	-3.95
11000	1.000	1092	1.770	1.478	1.163	-3.87
13000	1.000	917	1.739	1.463	1.156	-3.35
15000	1.000	734	1.713	1.443	1.152	-2.98
17000	1.000	548	1.683	1.421	1.150	-2.79
19000	1.000	362	1.660	1.405	1.152	-2.77
21000	1.000	180	1.634	1.387	1.152	-2.87
22555	1.000	42	1.618	1.374	1.154	-3.15

Figure 6
Expected Thermal / Reactivity Performance

Cycle No. N-1

Thermal Limit	Performance Nominal	Core Design Limit	Operating Limit
1. $F_{\Delta H}^N$, ARO	1.483	1.495	1.62
2. $F_{\Delta H}^N$, Rodded	1.501	1.555	1.62
3. F_Q	1.781	2.24	2.42
Safety Parameter	Performance Nominal	Core Design Limit	Operating Limit
1. Shutdown Margin HZP (pcm)	>2.77	2.77	1.77
2. Moderator Temperature Coefficient (All Rods Out) (pcm/°F)			
BOL HZP	+3.518	+5.5	+7.0
5% of cycle HFP (ATWS)	-7.632	-5.0	-5.0
EOL HFP Most Negative	>-49.0	-49.0	-49.0
3. Boron Concentration (ppm)			
BOL HZP	2031	2400	2400
BOL HFP (No Xenon)	1847	2400	2400
4. Peak Burnup (MWD/MTU)			
Pellet/Rod/Assembly <input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	58145	62000	62000

Figure 7
Cycle N Loading Pattern

BURNED FUEL: PRIOR CYCLE LOCATION, PRIOR CYCLE

FEEDS : ENRICHMENT, IFBA

Locations Specified Below in Quarter Core

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	(1, 1) 22	(3, 1) 22	4.60 128l	(3, 3) 22	4.60 156l	(7, 1) 22	4.95 128l	(5, 1) 22
2	(3, 1) 22	4.60 128l	(2, 6) 22	4.60 128l	(4, 5) 22	4.60 128l	4.95 48l	(2, 2) 22
3	4.60 128l	(6, 2) 22	4.60 156l	(3, 6) 22	(2, 7) 22	4.95 128l	(2, 4) 22	
4	(3, 3) 22	4.60 128l	(6, 3) 22	(4, 6) 22	4.60 128l	4.60 48l	(3, 5) 22	
5	4.60 156l	(5, 4) 22	(7, 2) 22	4.60 128l	(6, 4) 22	(8, 1) 22		
6	(7, 1) 22	4.60 128l	4.95 128l	4.60 48l	(4, 6) 20			
7	4.95 128l	4.95 48l	(4, 2) 22	(4, 4) 22				
8	(5, 1) 22	(5, 5) 22						

<u>ASSEMBLY</u> <u>NAMES</u>	<u>ENRICH</u>	<u>#IFBA</u>	<u>#ASSEMBLIES</u>	<u>TOTAL IFBA</u>
X101-X108	4.60	48l	8	384
X109-X140	4.60	128l	32	4096
X141-X148	4.60	156l	8	1248
X149-X156	4.95	48l	8	384
X157-X160	4.95	128l	4	512
W162-W169	4.95	128l	8*	1024

Total: 68 Feeds 7648

* These eight assemblies are Unit 2 Region 24 feeds that were not used in Cycle N-1.

Figure 8
Cycle N Burnup Distribution

	<u>BOC</u>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	27569	29373	0	29718	0	25273	0	30945
2	29373	0	29676	0	27850	0	0	45706
3	0	29904	0	28280	23996	0	30360	
4	29718	0	28494	22629	0	0	47496	
5	0	27801	24451	0	22748	33437		
6	25273	0	0	0	39510			
7	0	0	30417	46256				
8	30945	39492						

	<u>EOC</u>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	48589	51388	28579	53031	29083	49948	26040	41024
2	51388	27912	52769	28648	51380	29209	24363	52906
3	28579	52923	28201	51539	48291	27459	43827	
4	53031	28590	51659	46726	26802	21908	54506	
5	29083	51261	48485	26651	40847	42398		
6	49948	29083	27339	21630	47592			
7	26040	24451	43886	53200				
8	41024	47291						

Figure 9
Power Distribution Data – Cycle N

	ASSEMBLY AVERAGE POWER AND F DH, BURNUP = 150 MWD/MTU							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.064	1.085	1.271	1.125	1.239	1.166	1.101	0.427
	1.098	1.141	1.329	1.167	1.303	1.252	1.322	0.690
2	1.085	1.247	1.121	1.298	1.160	1.270	1.107	0.311
	1.141	1.306	1.172	1.364	1.224	1.342	1.399	0.638
3	1.271	1.117	1.249	1.217	1.253	1.205	0.607	
	1.329	1.166	1.331	1.306	1.377	1.374	0.963	
4	1.125	1.293	1.209	1.277	1.228	1.020	0.310	
	1.167	1.357	1.298	1.401	1.359	1.325	0.685	
5	1.239	1.152	1.239	1.216	0.874	0.418		
	1.303	1.213	1.363	1.352	1.232	0.828		
6	1.166	1.258	1.192	0.996	0.367			
	1.252	1.328	1.361	1.304	0.752			
7	1.101	1.109	0.604	0.306				
	1.322	1.391	0.957	0.685				
8	0.427	0.339						
	0.690	0.678						

Figure 9 (Continued)
Power Distribution Data – Cycle N

ASSEMBLY AVERAGE POWER AND F DH, BURNUP = 5000 MWD/MTU								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.977	1.033	1.345	1.109	1.363	1.170	1.193	0.438
	1.004	1.101	1.405	1.143	1.413	1.246	1.370	0.710
2	1.033	1.304	1.092	1.353	1.119	1.377	1.139	0.315
	1.101	1.372	1.140	1.412	1.174	1.448	1.430	0.644
3	1.345	1.088	1.310	1.106	1.152	1.268	0.605	
	1.405	1.135	1.353	1.154	1.233	1.416	0.968	
4	1.109	1.348	1.101	1.135	1.228	0.998	0.302	
	1.143	1.408	1.148	1.228	1.334	1.290	0.669	
5	1.363	1.114	1.141	1.217	0.814	0.390		
	1.413	1.166	1.222	1.327	1.148	0.772		
6	1.170	1.367	1.258	0.981	0.349			
	1.246	1.435	1.405	1.276	0.707			
7	1.193	1.141	0.604	0.300				
	1.370	1.424	0.964	0.671				
8	0.438	0.341						
	0.710	0.683						

Figure 9 (Continued)
Power Distribution Data – Cycle N

ASSEMBLY AVERAGE POWER AND F DH, BURNUP = 11000 MWD/MTU								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.952	1.007	1.342	1.078	1.378	1.147	1.230	0.464
	0.972	1.070	1.405	1.106	1.447	1.214	1.408	0.737
2	1.007	1.306	1.064	1.342	1.087	1.382	1.143	0.333
	1.070	1.380	1.104	1.408	1.137	1.456	1.405	0.663
3	1.342	1.061	1.322	1.063	1.114	1.293	0.621	
	1.405	1.100	1.386	1.100	1.185	1.444	0.955	
4	1.078	1.340	1.059	1.096	1.246	1.017	0.320	
	1.106	1.406	1.096	1.175	1.350	1.280	0.682	
5	1.378	1.084	1.106	1.240	0.828	0.410		
	1.447	1.133	1.179	1.342	1.129	0.782		
6	1.147	1.377	1.289	1.006	0.370			
	1.214	1.451	1.439	1.271	0.724			
7	1.230	1.148	0.621	0.319				
	1.408	1.403	0.954	0.689				
8	0.464	0.361						
	0.737	0.703						

Figure 9 (Continued)
Power Distribution Data – Cycle N

ASSEMBLY AVERAGE POWER AND F DH, BURNUP = 21495 MWD/MTU								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.980	1.008	1.294	1.041	1.313	1.105	1.228	0.528
	0.994	1.051	1.342	1.062	1.365	1.162	1.355	0.780
2	1.008	1.280	1.041	1.289	1.054	1.315	1.139	0.382
	1.051	1.331	1.069	1.338	1.096	1.372	1.334	0.710
3	1.294	1.039	1.290	1.047	1.097	1.279	0.664	
	1.342	1.066	1.344	1.093	1.171	1.382	0.931	
4	1.041	1.289	1.044	1.097	1.257	1.061	0.372	
	1.062	1.338	1.090	1.178	1.332	1.272	0.732	
5	1.313	1.054	1.091	1.255	0.893	0.477		
	1.365	1.095	1.170	1.330	1.147	0.834		
6	1.105	1.314	1.279	1.055	0.436			
	1.162	1.371	1.382	1.269	0.785			
7	1.228	1.145	0.666	0.373				
	1.355	1.336	0.933	0.742				
8	0.528	0.412						
	0.780	0.748						

Figure 10
Cycle N Depletion Summary for F_Q , $F_{\Delta H}$, F_Z and AO

BU	POWER	BORON	F_Q	$F_{\Delta H}$	F_Z	AO
0	1.000	1697	1.737	1.418	1.212	10.55
150	1.000	1322	1.544	1.401	1.087	1.76
1000	1.000	1335	1.575	1.400	1.112	0.65
2000	1.000	1374	1.659	1.416	1.153	0.05
3000	1.000	1392	1.709	1.425	1.176	-0.71
5000	1.000	1357	1.746	1.448	1.185	-2.42
7000	1.000	1260	1.765	1.458	1.171	-3.32
9000	1.000	1125	1.754	1.463	1.157	-3.37
11000	1.000	966	1.731	1.456	1.149	-3.05
13000	1.000	793	1.707	1.444	1.146	-2.75
15000	1.000	613	1.680	1.428	1.144	-2.57
17000	1.000	430	1.661	1.414	1.145	-2.52
19000	1.000	249	1.646	1.400	1.148	-2.62
21000	1.000	71	1.632	1.385	1.152	-2.95
21495	1.000	28	1.627	1.382	1.152	-3.04

Figure 11
Expected Thermal / Reactivity Performance
Cycle No. N

Thermal Limit	Performance Nominal	Core Design Limit	Operating Limit
1. $F_{\Delta H}^N$, ARO	1.463	1.495	1.62
2. $F_{\Delta H}^N$, Rodded	1.484	1.555	1.62
3. F_Q	1.765	2.24	2.42
Safety Parameter	Performance Nominal	Core Design Limit	Operating Limit
1. Shutdown Margin HZP	>2.77	2.77	1.77
2. Moderator Temperature Coefficient (All Rod Out)			
BOL HZP	+1.930	+5.5	+7.0
5% of cycle HFP (ATWS)	-9.096	-5.0	-5.0
EOL HFP most negative	>-49.0	-49.0	-49.0
3. Boron Concentration BOL HZP	1877	2400	2400
BOL HFP (No Xenon)	1697	2400	2400
4. Peak Burnup			
Pellet/Rod/Assembly <input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	57794	62000	62000

Figure 12
Cycle N+1 Preliminary Loading Pattern

BURNED FUEL: PRIOR CYCLE LOCATION, PRIOR CYCLE
FEEDS : ENRICHMENT, IFBA
Locations Specified Below in Quarter Core

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	4.60 156I	(7, 1) 23	4.95 156I	(1, 5) 23	4.95 156I	(2, 2) 23	4.95 128I	(5, 5) 23
2	(7, 1) 23	(2, 7) 23	(4, 5) 23	4.95 156I	(3, 6) 23	4.95 156I	4.95 48I	(7, 3) 23
3	4.95 156I	(5, 4) 23	4.95 156I	(3, 1) 23	(4, 6) 23	4.95 128I	(4, 2) 23	
4	(5, 1) 23	4.95 156I	(3, 3) 23	4.60 128I	4.60 128I	4.95 48I	(4, 4) 23	
5	4.95 156I	(6, 3) 23	(6, 4) 23	4.60 128I	(7, 2) 23	(2, 6) 23		
6	(2, 2) 23	4.95 156I	4.95 128I	4.95 48I	(6, 2) 23			
7	4.95 128I	4.95 48I	(2, 4) 23	(8, 1) 23				
8	(5, 5) 23	(3, 7) 23						

<u>ENRICH</u>	<u>#IFBA</u>	<u>#ASSEMBLIES</u>	<u>TOTAL IFBA</u>
4.60	128I	12	1536
4.60	156I	1	156
4.95	48I	16	768
4.95	128I	12	1536
4.95	156I	28	4368
Total:		69 Feeds	8364

Note that feeds are not assigned assembly IDs for Cycles N+1 and N+2 since this fuel is not being manufactured.

Figure 13
Cycle N+1 Burnup Distribution

	<u>BOC</u> AVERAGE ASSEMBLY BURNUP							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	26040	0	29083	0	27912	0	40847
2	26040	24363	26802	0	27459	0	0	43886
3	0	26651	0	28579	21908	0	28590	
4	29083	0	28201	0	0	0	46726	
5	0	27339	21630	0	24451	29209		
6	27912	0	0	0	29083			
7	0	0	28648	41024				
8	40847	43827						

	<u>EOC</u> AVERAGE ASSEMBLY BURNUP							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	27544	49559	29582	53463	31084	52295	25694	49614
2	49559	47830	50650	30466	52780	30488	24396	50767
3	29582	50526	30192	52631	47021	28601	42611	
4	53463	30522	52485	30539	29098	23946	54136	
5	31084	52733	46886	29132	44017	39663		
6	52295	30518	28693	24084	39570			
7	25694	24411	42727	48735				
8	49614	50715						

Figure 14
Cycle N+2 Preliminary Loading Pattern

BURNED FUEL: PRIOR CYCLE LOCATION, PRIOR CYCLE

FEEDS : ENRICHMENT, IFBA

Locations Specified Below in Quarter Core

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	(1, 1) 24	(6, 4) 24	4.60 156l	(6, 2) 24	4.60 156l	(1, 7) 24	4.60 128l	(2, 6) 24
2	(6, 4) 24	4.60 156l	(2, 4) 24	4.60 156l	(3, 3) 24	4.60 128l	4.95 48l	(5, 6) 24
3	4.60 156l	(4, 2) 24	4.60 156l	(3, 6) 24	(7, 2) 24	4.95 128l	(4, 5) 24	
4	(6, 2) 24	4.60 156l	(6, 3) 24	4.60 128l	4.60 128l	4.95 48l	(5, 5) 24	
5	4.60 156l	(3, 1) 24	(2, 7) 24	4.60 128l	(4, 6) 24	(4, 4) 24		
6	(7, 1) 24	4.60 128l	4.95 128l	4.95 48l	(5, 1) 24			
7	4.60 128l	4.95 48l	(5, 4) 24	(7, 3) 24				
8	(2, 6) 24	(6, 5) 24						

<u>ENRICH</u>	<u>#IFBA</u>	<u>#ASSEMBLIES</u>	<u>TOTAL IFBA</u>
4.60	128l	24	3072
4.60	156l	24	3744
4.95	48l	16	768
4.95	128l	8	1024
Total:		72 Feeds	8608

Note that feeds are not assigned assembly IDs for Cycles N+1 and N+2 since this fuel is not being manufactured.

Figure 15
Cycle N+2 Burnup Distribution

	<u>BOC</u>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	27544	24084	0	30518	0	25694	0	30488
2	24084	0	30466	0	30192	0	0	39663
3	0	30522	0	28601	24411	0	29098	
4	30518	0	28693	0	0	0	44017	
5	0	29582	24396	0	23946	30539		
6	25694	0	0	0	31084			
7	0	0	29132	42727				
8	30488	39570						

	<u>EOC</u>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	50936	49557	29799	55253	29852	51498	25717	41130
2	49557	29725	55289	29510	54771	29824	24811	47263
3	29799	55316	29789	53468	49668	28537	43164	
4	55253	29551	53560	30590	29017	23882	51538	
5	29852	54358	49713	29081	43583	40810		
6	51498	29871	28604	23998	41776			
7	25717	24834	43223	50198				
8	41130	47187						

附件 3 契約及技術文件(Contract And Technical Data, CATD)

I. Project charter

II. Fuel Mechanical Design

A. Fuel Product Description

PWR, 17X17 OFA, Vantage+, Z+2, Rod OD 0.360

B. Fuel Feature

- * W-SSS fuel
- * High burnup plus > 50,000 MWD/MTU
- * Removable Top Nozzle, RTN
- * TNBB Screw (718 Alloy)
- * Jedinstvo Bottom Nozzle
- * Debris Filter Bottom Nozzle
- * ZIRLO Clad
- * Oxide Coating on Clad
- * Variable Pitch Plenum Spring
- * ZIRLO Mid Grids
- * Top Grid with low cobalt sleeve
- * Protective Grid (P-grid)
- * ZIRLO Intermediate Flow Mixing (IFM) Grids
- * ZIRLO Guide Thimbles & Instrument Tubes
- * Z+2 Guide Thimble Design

Rod types

ADU	blanket: Solid	length: 6"	enrichment: 2.6	IFBA: N/A
IFBA	blanket: Annular	length: 6"	enrichment: 2.6	IFBA: 1.5X

Note: Final information is provided via the CLP

III. Reload Design Requirements

A. Reload energy requirements

Cy23 – 1532 GWD (EUP50)

B. WH reload scope

WH responsible for the design of each reload region core design, T/H design, fuel rod design, LOCA, non-LOCA, MCA

Document: FSAR or design basis document updates

WH NDR, POP or NuPOP

WH Rod Swap

WH MCA for enrichment setting

C. Reload Schedule Contractual Requirements

SSD: 02/01/2014

Items	Action	Due
# of assy. and enrich	EPM	EDD -11m
Final design parameter drawing	PM	FDD -6m
DI meeting	EPM	SU -4.2m
RS&LC, RSER and RSAC	EPM	SU -6.5m
DI meeting doc.	EPM	SU -3.8m
Preliminary LP	EPM	SU -3.5m
Final LP	EPM	SU -3.0m
RSAC	EPM	SU -2.0m
Draft RSE and COLR	EPM	SU -2.0m
Final RSE and COLR	EPM	SU -1.3m
NDR, OCAP and TOTE	EPM	SU -14d

FDD: Final Fuel Delivery Date

SU: Startup Date

D. Special Customer Constraints or Requirement

Items	Contract
MCA	17.3
Training	17.4
Kick-off meeting	
auditor	17.4.6
Safety Analysis	17.4.2
Repair/rework	9.3.A

E. Special Customer Interface Requirements & Corresponding Schedule
 SU: 4/16/2015

Items	Action	Due
Monthly report (9.1.3.D)	PM/EPM	14 th each month
Training (17.4)	TPC	SU -9m
Updated MAQP's	PM	M -2m
Procedure list of fabrication (9.1.3.C)	PM	M -2m
Manufacturing schedule (9.1.3.E)	PM	M -60d
Updated sub-suppliers list	PM	M -2m
Change sources of material or component	PM	Change -90d
Change Appendix C design description	PM	Change -90d
Schedule of sub-supplier audits (9.2.B)	PM	Audit -90d
Annual audit plan, update and report	PM	As issued
NRC inspection report	PM	As available
10CFR21 and C10CFR 50.55(e) (9.3.B)	PM/EPM	Within 3d
Certificate of insurance	PM	annual
Meeting minutes	PM/EPM	Meeting +15d
Presentation on reload design core monitoring system and power maneuvering techniques	EPM	Prior each SU
Tech report methods/mech design (17.2.B)	EPM	Conv.& pellet -90d
Mechanical design (17.2.B)	PM/EPM	Conv.& pellet -30d

F. Special Contractual Licensing Commitments & Corresponding Schedule

G. Special Contractual Engineering Requirements & Corresponding Schedule
 PMM (NF-TWP-07-88 Rev.D)

IV. Other Contract Requirements and Conditions

A. General Quality Requirements

WH Quality Management System (QMS)

B. Site Services Requirements refueling support

Technical phone support (availably 24hr/7d)

C. Warranties

Items	Warranties
Mechanical integrity	57000 MWD/MTU (LD)
Workmanship and materials	Repair or replace
Full rated thermal power	2775 MWt +1.7% (LD)
Gross mechanical failure	57000 MWD/MTU Find/fix it and approval by ROC-AEC or LD