

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  
出國人職稱：燃料處採購師  
姓名：蔣光聲 (117414)  
出國地區：美國  
出國期間：101年6月20日至101年8月8日  
報告日期：101年9月21日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：多週期設計分析實習

頁數：157 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

蔣光聲/台灣電力公司/燃料處/採購師/23666758

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他：

出國期間：101年6月20日至101年8月9日 出國地區：美國

報告日期：101年9月21日

分類號/目

關鍵詞：核燃料、多週期、AREVA

內容摘要：（二百至三百字）

核燃料營運之主要功能為配合核能電廠之營運，適時、適量、適質供應電廠所需之製成核燃料元件。本公司須依核燃料製造廠家之多週期設計分析結果採購製成核燃料供核能電廠使用，故多週期設計分析技術及能力決定本公司核燃料營運之安全性與經濟性，若能了解多週期設計分析之技術，則不但可以提升核燃料使用之安全性與經濟性，亦可逐步向下紮根建立屬於本公司之自主技術。

經由本次之實習機會已逐步達成下列各項多週期設計分析之關鍵觀念與技術，以求日後繼續精進並建立本公司之自主技術。

- 一、核燃料供應商 Areva NP 之多週期設計分析技術認識及瞭解-利用核一、二廠核燃料供應商 Areva NP 所提供之多週期設計分析指引(Guideline)，先行對於多週期設計分析技術，進行全盤性的認識與深入之瞭解，以掌握多週期設計分析技術之完整性。
- 二、核燃料供應商多週期設計分析及其程式集與其使用上之限制-利用核一、二廠核燃料供應商 Areva NP 所提供之多週期設計分析程式集，了解其使用上之限制，並深入瞭解其設計分析上之關鍵技術或問題，進而建立相關專業技術。
- 三、Areva NP 多週期設計分析之專業技術實務應用-經由實務學習設計之方式，應用核燃料供應商多週期設計分析及其程式集進行範例設計，以深入瞭解其設計分析上之關鍵技術或問題。

# 目 錄

圖目錄.....	ii
壹、 出國緣起與任務 .....	1
貳、 出國行程紀要 .....	3
參、 工作內容 .....	4
一、 核燃料供應商Areva NP之多週期設計分析技術認識及瞭解.....	4
二、 核燃料供應商Areva NP多週期設計分析及其程式集與其使用上之限制.....	12
三、 核燃料供應商Areva NP多週期設計分析之專業技術實務應用.....	16
肆、 心得與建議事項 .....	35

## 圖目錄

圖 1、多週期設計分析之流程圖.....	10
圖 2、多週期設計分析之流程圖SDM與熱過剩反應度在週期中之變化範例.....	11
圖 3、輔助應用程式CDM之畫面.....	15
圖 4、檢驗SDM最低值位置.....	23
圖 5、調整爐心佈局.....	24
圖 6、爐心佈局調整後SDM符合.....	25
圖 7、調整控制棒佈局過程 $k_{eff}$ 之變化.....	26
圖 8、調整控制棒佈局過程熱限值之變化( $\leq 0.92$ ).....	27
圖 9、調整控制棒佈局過程tilt%之變化.....	28
圖 10、調整後 $k_{eff}$ 之變化.....	29
圖 11、調整後tilt%之變化.....	30
圖 12、調整後熱限值之變化( $\leq 0.92$ ).....	31
圖 13、熱過剩反應度之變化.....	32
圖 14、模擬平衡週期過程中 $k_{eff}$ 之變化.....	33
圖 15、平衡週期調整設計參數方法之比較.....	34

## 壹、出國緣起與任務

核燃料營運之主要功能為配合核能電廠之營運，適時、適量、適質供應電廠所需之製成核燃料元件，因此，如何提供合適的核燃料元件就成為一項重要的課題。由於核燃料具有能量密度高且使用時間較長之特性，故其設計製造上涉及較多層面之技術，在評估其使用之效率上通常需要自其開始置入爐心開始至完全退出爐心後，在設計上就必須進行多個使用週期之完整評估，如此一來，其分析技術就顯得非常重要。由此可知，多週期設計分析技術及能力決定本公司核燃料營運之安全性與經濟性。而目前本公司之製成核燃料元件設計分析工作係由核燃料製造廠家進行，並在本公司審查同意後進行製造之工作以提供合適之核燃料元件予核能電廠。

在核燃料製造之過程中，多週期設計分析技術是整體核燃料製造之最前端及核心技術，製成核燃料使用之數量係由多週期設計分析之結果決定，並可據此估算長期之核燃料元件數量與濃縮度等需求資料。若以價值較低之核一、二廠每束製成核燃料之成本約為 40 萬美元估算，若每次多週期設計分析能節省一束燃料之使用，各機組每批次將節省約 40 萬美元之費用，反之，將增加 40 萬美元之燃料成本，故若具備多週期設計分析能力，將能提升核燃料使用之經濟性。

本公司核能機組目前正進行中幅度功率提升，此等變更將大幅增加核燃料營運之複雜性，並衝擊核燃料之安全性與經濟性，為確保核燃料安全及有效使用，更需加強多週期設計之自主分析能力。同時，為因應核一、二、三廠不延役之新能源政策，對於未來核能電廠除役前最後數週期之多週期設計與核心營運策略，實需進一步地進行研究與分析比較，以使本公司選擇最有利之設計及運轉策略，故需加強並建立本公司獨立自主之多週期設計分析技術。

所以，本次出國最主要之任務即希望藉由實習之方式，逐步透過下列之過程達成瞭解與學習燃料供應商多週期設計分析技術，以及嘗試建立自主多週期設計分析能力之目標：

### 一、了解核燃料供應商多週期設計分析技術

本次任務主要係學習核一、二廠核燃料供應商 Areva NP 之多週期設計分析技術，故先行透過研讀渠相關文件，建立多週期設計分析技術之基本重要觀念與進行之方式，並透過討論與 Q&A 之方式進一步了解其相關關鍵目的與技術，以掌握多週期設計分析

技術之完整性。此外，由於多週期設計分析技術必須使用相關程式集進行模擬分析，因此，在研讀 Areva NP 之相關文件時，亦配合了解其使用程式集主要之目的與相關之限制，以求未來在選擇適當之程式集上更具彈性，並更能善用程式集正確無誤地達成所需之目的。

## 二、熟悉並應用核燃料供應商多週期設計分析程式集

由於多週期設計分析技術涉及之層面較廣，並需要進行許多較複雜之計算，因此，需要透過適當的程式集進行模擬計算分析，才能透過其分析結果評估是否達成相關之設計要求，所以，多週期設計分析程式集亦屬於多週期設計分析技術中重要的一環。如何選擇適當之程式集達成所需要之目的，以及如何正確使用程式集得到所需要之結果，皆仰賴使用正確之多週期設計分析程式集，以及對此程式集之熟稔度。Areva NP 係使用

CASMO4/MICROBURN B2 程式集進行多週期設計分析之工作，故本次實習亦學習此程式集之使用方式以及其在多週期設計分析中扮演之角色，同時亦對其使用上之限制與應注意事項進行了了解，如此未來不論在程式集之選擇上，或是因應不同目的之使用上，皆能較具彈性且更準確。此外，因應程式集所需之各項輔助介面程式亦可在了解程式集之使用後視需要進行開發，而不至於過度仰賴輔助介面程式反而喪失了解與學習原使用目的背景之機會。

## 三、完成核燃料供應商多週期設計分析能力之專業技術實務應用

最佳之學習方式就是透過實務之操作練習，尤其對於需使用相關程式集進行設計分析之工作而言，實際之設計運算分析工作遠比課堂上之講解來得有效率，另一方面，在實務上運算分析時可能會遭遇之相關問題與解決之技巧及經驗，也唯有透過實務操作練習才能夠了解與學習。因此，在了解多週期設計分析技術與程式集之使用方式後，接著最好之學習方式就是以實務之案例進行練習，以提昇設計分析之經驗與解決問題之能力。

## 貳、出國行程紀要

時間	工作紀要
6/20(三)~6/21(四)	往程：台北—Richland
6/22(五)~7/5(四)	核燃料供應商 Areva NP 之多週期設計分析技術認識及瞭解
7/6(五)~7/19(四)	學習核燃料供應商多週期設計分析程式集並了解其使用上之限制
7/20(五)~8/6(四)	Areva NP 多週期設計分析之專業技術實務應用
8/7(二)~8/8(三)	返程：Richland—台北

## 參、工作內容

### 一、核燃料供應商 Areva NP 之多週期設計分析技術認識及瞭解

Areva NP 多週期設計分析技術可謂已發展相當成熟，不僅有自行開發並獲 NRC 審查通過之 MICROBURN B2 程式集，亦有相對應之指引文件(Guideline)說明多週期設計分析技術之概念與進行方式，雖因該指引文件屬機敏性資料無法攜回國內參考，惟透過這一段時間之實習已可掌握該指引文件之重要概念，以及 Areva NP 多週期設計分析進行之方式，茲將多週期設計分析之重要觀念整理如下(摘錄部份 Areva NP 之多週期設計分析指引內容如附件 1)：

#### (一)、多週期設計分析之目的

- 決定可接受之燃料束設計(fuel assembly nuclear design)
- 提供在機械(mechanical)、熱流(thermal-hydraulic)與中子(neutronic)設計報告中所需之相關參數
- 產生在爐心模擬器中所需之燃料設計中子截面資料庫

由於核能電廠之能量來源為核燃料元件，而且每次僅需填換部分之核燃料元件(填換燃料)就可繼續維持運轉，並達到每個週期所需要的能量，因此，如何設計出能夠滿足所需能量之要求，又能符合相關法規與電廠安全運轉限制規範之填換燃料就成為一項重要的課題。而由於每一批次填換燃料通常可於爐心內停留約 3~4 個運轉週期，如此可提供長時間運轉之特性，若要完整評估該填換批次燃料之表現，在設計填換燃料時就必須模擬在爐心中經歷多個週期後產生之能量表現，以確實評估設計之填換燃料是否確實達到需求，故稱之為多週期設計分析。

此外，核能電廠之運轉必須遵守許多安全之規範，以確保即使在假想的事務下，機組仍然能夠安全停機以保護大眾之安全與健康，因此，填換燃料也必須進行相關之機械設計、熱流設計與中子設計之報告，並送核能管制單位審查通過。而這些設計分析報告之相關輸入條件參數亦需來自於多週期設計分析之結果。

同時，為了瞭解電廠實際運轉之相關參數變化，在核能電廠中皆有安裝爐心模擬計算程式(如 POWERPLEX)以監測相關重要參數，



此爐心模擬計算程式亦需要多週期設計分析後所設計出填換燃料之中子截面資料庫結果。

## (二)、多週期設計分析與爐心設計之異同

爐心設計係針對即將進行填換之週期(如週期 21 即將結束，設計之填換燃料用於週期 22)進行燃料設計，重點著重於該設計週期(如週期 22)之運轉策略以滿足週期能量，以及相關反應度限制與相關熱限值等要求；相對於爐心設計而言，多週期設計分析則為數個週期之爐心設計(如週期 22、週期 23、週期 24、週期 25)，惟重點則放在該填換燃料所停留之各個週期之綜合表現，滿足之能量則為各個週期之能量，而不變的是仍需要滿足各個週期相關反應度限制與相關熱限值等要求。

此外，進行爐心設計時，通常電廠運轉之週期與設計週期非常接近，故相關之運轉參數較可確定，此時可進行較精確之設計，將爐心設計進行細部之微調；而多週期設計分析則因分析之週期可能距離欲填換之運轉週期有一段時間，運轉參數較無法確定，此時之設計則著重於滿足週期能量，以及保留彈性以因應未來進行實際設計時，可以有足夠之餘裕進行微調。

綜上，多週期設計分析較屬於長期規劃性質，此時主要之設計方向係以滿足多週期之能量為主，並保留部分彈性以因應未來運轉參數確定後可以進行微調之需要，此與僅設計單一週期之爐心設計較不相同。

## (三)、多週期設計分析使用之程式集

既然多週期設計分析係為設計符合需求之燃料設計，因此，必須透過程式集之協助，以模擬該設計之填換批次燃料在爐心中經過各週期的表現結果，因此，選擇適當的程式集也是非常重要的一項重點。Areva NP 係使用 CASMO4 與 MICROBURN B2 程式集進行模擬設計之工作，在使用上就必須注意該程式集之方法論(methodology)以了解其適用之範圍與限制，例如在模擬臨界能量(critical power)之關係式上，在 MICROBURN B2 中係使用 SPCB 或是 ACE，在使用該程式集進行計算時就必須了解適用情形與其相關限制，在比較分析結果時，也必須一併檢視其相關係數結果。

另外，在配合分析使用之程式集上，Areva NP 亦開發許多輔助性之介面程式，以節省分析之時間，或增加調整參數之便利性，這些輔助性之介面程式包括圖型化之介面程式、產生輸入資料檔或處理輸出資料檔之介面程式或為特殊目的開發撰寫之指令集等，這些介面程式之使用必須了解其開發之目的與適用之狀況。此外，各種輔助介面程式皆可依特殊目的進行開發，惟一必須保持不變的是原程式集之方法論，與對於爐心設計分析基本之觀念，如此才能搭配應用各種輔助程式集以快速又正確地完成多週期設計分析。

#### (四)、多週期設計分析進行之方式

由於多週期設計分析需進行複雜之計算，故其設計分析工作之進行係透過不斷重複之疊代過程，直到最後可設計出一符合各項要求之核燃料設計。多週期設計分析進行之簡要流程圖詳圖 1，相關之計算過程與概念茲分述如下：

##### 1. 選擇初始填換燃料設計

既然多週期設計分析係屬於一重複疊代之過程，故在一開始必須先設定一初始之填換燃料設計，然後透過計算分析調整此填換燃料設計，直到最後符合所有條件後即可得到所需要之填換燃料設計。在此階段主要是需要確定濃縮度等級，而選擇初始填換燃料設計之方式，核燃料供應商 Areva NP 係透過平衡週期分析法，或是根據以往之設計挑選類似週期能量之填換燃料進行分析。此兩種方式可視未來週期能量與相關參數之變化擇一為之即可，其最大之目的僅為節省後續於過渡週期調整填換燃料設計之時間，亦即若初始填換燃料設計選擇較佳的情況下，在進行後續過渡週期分析之調整過程中，可以快速找出適合各過渡週期之填換燃料設計。

- 平衡週期分析法-在後續過渡週期能量差異變動較小的情況下，可以利用平衡週期分析方式，找出滿足平衡週期能量之平衡週期燃料設計，或是亦可以 Haling 計算找出符合週期能量之濃縮度等級。目前若需計算平衡週期時，Areva NP 較常使用平衡週期設計分析法，而非 Haling 計算(詳述於后)。

- 根據以往之設計-直接搜尋以往所設計之填換燃料其滿足之週期能量是否有相似之設計，然後直接經由後續過渡週期設計調整其設計以滿足該填換燃料設計之需求。
2. 設定初始填換燃料總量與 sub-batch 數量  
 根據要設計之過渡週期能量設定初始之填換燃料總數量以及其 sub-batch 之數量，在此可以先依  $N_i = \frac{E_i}{BADE \times W_0}$  之經驗公式，依據設定之  $BADE$  與上述挑選之燃料設計  $W_0$  推算可能之填換燃料數量。
  3. 調整設計以符合停機餘裕(shutdown margin ; SDM)  
 由於填換燃料設計有許多要符合之參數，其中最先要決定的就是停機餘裕(shutdown margin ; SDM)，而因為停機餘裕與爐心佈局相關，所以在知道填換之燃料數量後，可開始建立初步之爐心佈局並進行 SDM 之驗算( $SDM \geq 1.0\%$ )，若 SDM 無法滿足時，原則上會先調整爐心佈局，惟若仍無法滿足時，可透過調整不同鈳(Gd)棒濃度之 sub-batch 數量(如增加高濃度 Gd 棒數量，減少低濃度 Gd 棒數量，維持總數量不變)、燃料設計中之 Gd 棒根數或濃度或填換燃料總數量等方式達成。
  4. 調整設計以符合週期能量與相關熱限值  
 在完成初步之爐心佈局設定後，下一步則為建立控制棒佈局(control rod pattern ; RP)以達成週期能量(檢驗 K-eff 是否達到 Hot target K)，以及滿足臨界功率比值(Critical Power Ratio ; CPR)、平面最大平均線熱率(Maximum Average Planar Linear Heat Generation Rate ; MAPLHGR)與線熱率(Linear Heat Generation Rate ; LHGR)等相關熱限值餘裕(thermal margin  $\geq 8.0\%$ )，若透過調整控制棒佈局仍無法滿足熱限值餘裕，此時可考慮透過調整爐心佈局、不同鈳(Gd)棒濃度之 sub-batch 數量(如增加高濃度 Gd 棒數量，減少低濃度 Gd 棒數量，維持總數量不變)、燃料設計中之 Gd 棒根數或濃度或填換燃料總數量等方式達成。由於完成之後控制棒佈局已與原檢驗 SDM 時有所不同，雖然控制棒佈局對 SDM 之影響不大，惟為求所有之設計一致性(即檢驗所有參數時，使用相同的爐心佈局與控

制棒佈局)，仍需再次進行 SDM 之檢驗，可預期的是 SDM 之變化並不大。

#### 5. 檢驗熱過剩反應度(Hot Excess Reactivity)

在達成上述爐心佈局與控制棒佈局之調整之後，此時必須檢驗爐心是否可以達到臨界維持全功率運轉之能力，以證明在反應度之暫態變化下(如 Xe 毒之建立)仍可維持在全功率運轉。如果熱過剩反應度在週期初(beginning of cycle；BOC)無法大於 1%，此時因 BOC 熱過剩反應度與爐心佈局相關，故必須透過調整爐心佈局或燃料設計之方式以滿足熱過剩反應度。熱過剩反應度主要之限制值是在 BOC 時必須大於 1% 以證明機組可以維持在滿載運轉，而在後續週期中之運轉，因為係透過控制棒與水流之控制反應度，通常不會對熱過剩反應度做限制，惟會影響到電廠之運轉策略與控制上的複雜度，若週期中後續之熱過剩反應度太高，則需要較高的控制棒密度進行反應度的控制，造成需要時常變動控制棒的位置；反之，若熱過剩反應度過低，則很有可能在任何運轉過程中之暫態變化，都會使機組無法維持在滿載狀態，而形成效率上之損失。此外，熱過剩反應度是在控制棒全出下之反應度變化，故除了代表後續需要控制棒控制至 Hot Target K 之大小外，其曲線斜率之變化(如圖 2 所示)通常也代表在無控制棒控制下，必須透過水流可控制之反應度範圍，所以也必須注意到此斜率之變化是否超出電廠循環水流量之運轉範圍。

#### 6. 檢驗所有需符合之參數

在完成上述步驟之後，此單一過渡週期之填換燃料設計大致上已底定，惟仍必須檢驗其他的限制條件，以滿足所有燃料設計應有之規範，如，最大允許燃耗(包括燃料束與燃料棒)、GE SIL 380、徑向最大功率尖峰因子(maximum radial peaking factor)、....等。在 Areva NP 之指引中有將這些限值列成一張表格，此外，Areva NP 亦透過在設計報告完成後，QA 檢驗之方式，確認上述所有設計參數與方法是否符合。

#### 7. 繼續下一週期之分析直到完成所需之週期

至上述步驟完成之後係完成一個過渡週期之燃料設計，然後依據其分析之結果繼續下一過渡週期之分析，可產生下一過渡週期之爐心佈局設計與控制棒佈局設計，如此一直往下設計直到本設計週期的燃料完全退出爐心為止，此時，才可以評估本填換批次燃料設計之效率，因此，必須經歷多個週期之分析方法，稱之為多週期設計分析。

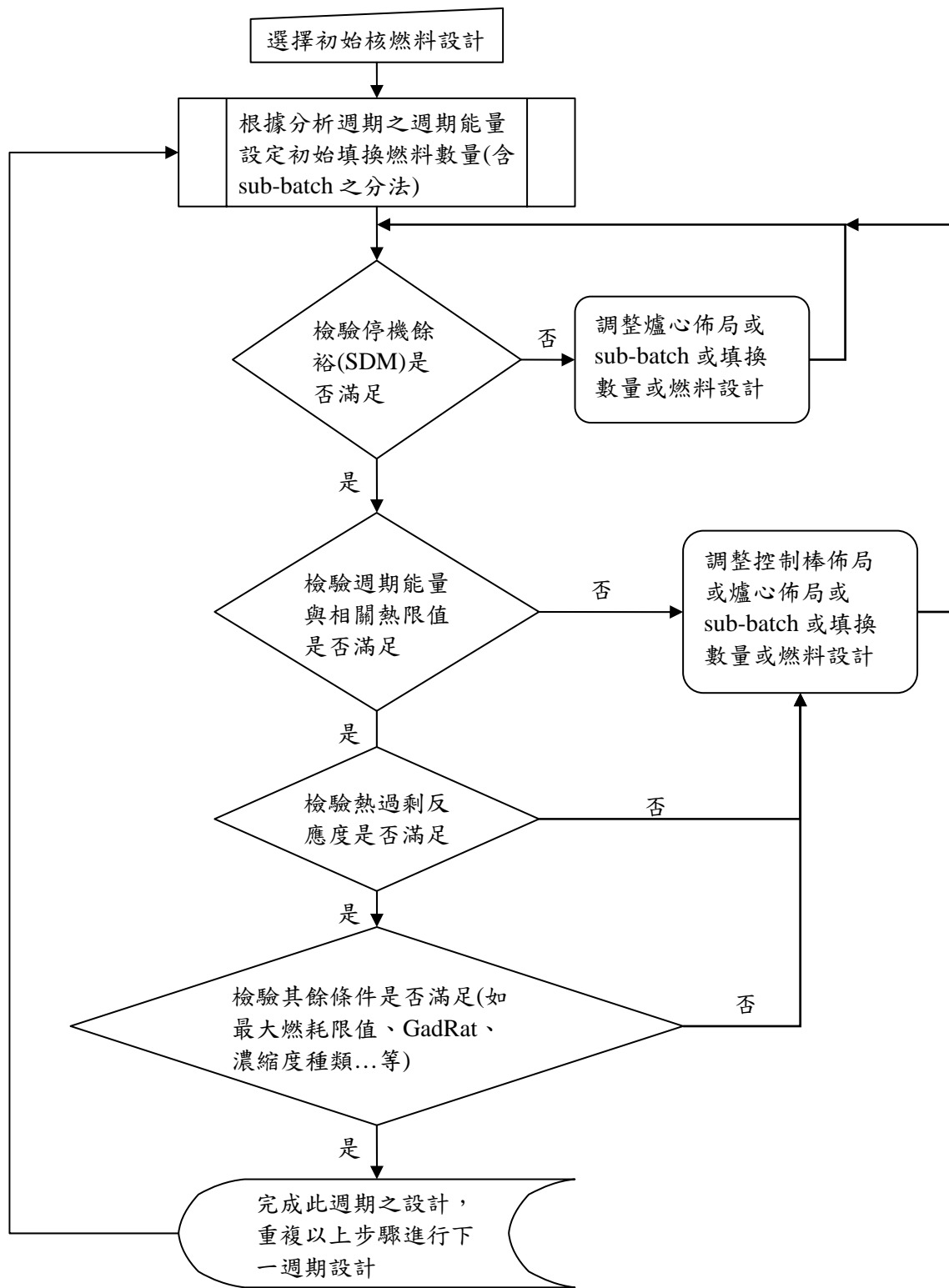


圖 1、多週期設計分析之流程圖

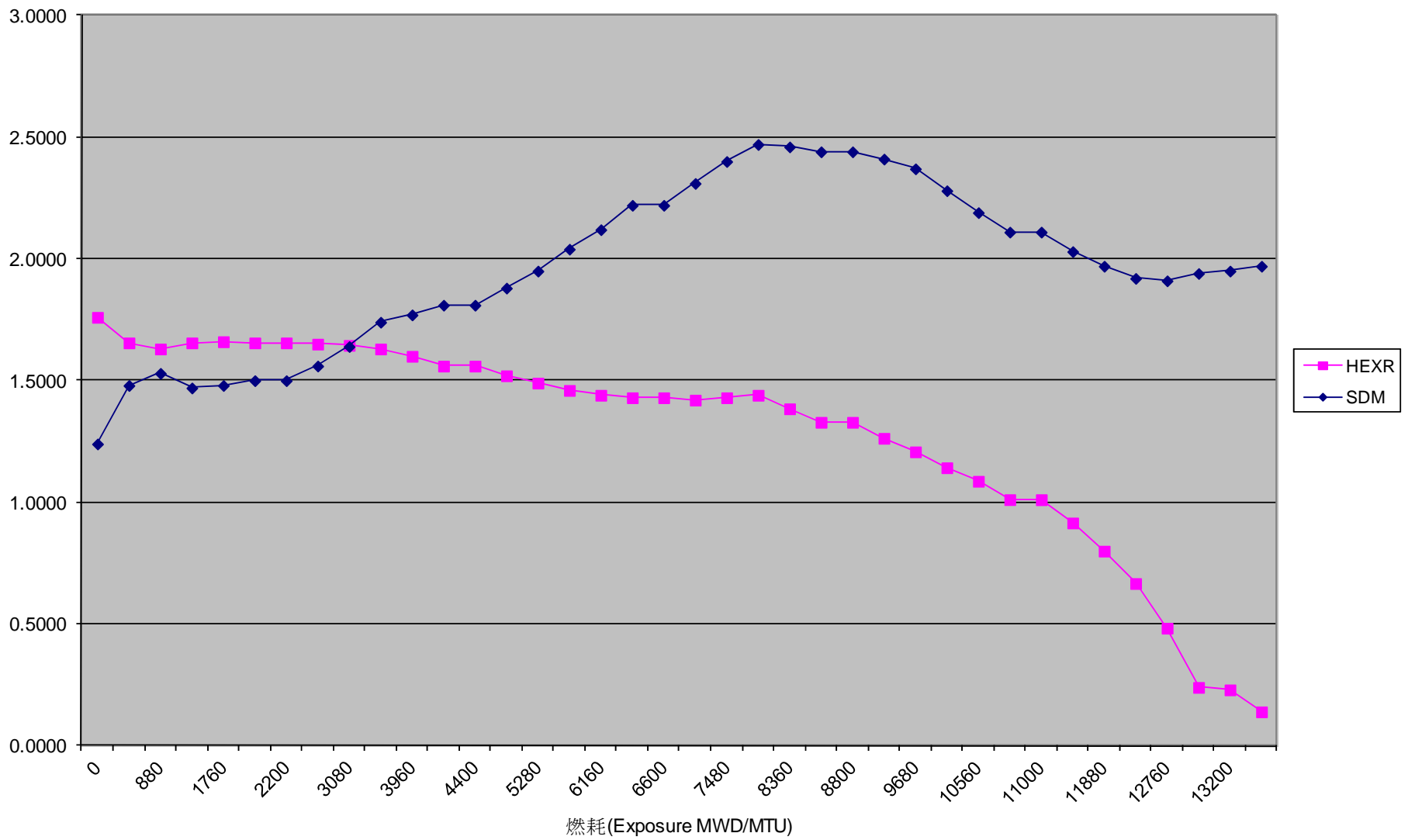


圖 2、多週期設計分析之流程圖 SDM 與熱過剩反應度在週期中之變化範例

## 二、核燃料供應商 Areva NP 多週期設計分析及其程式集與其使用上之限制

由於多週期設計分析的工作必須經由分析計算才能得到填換燃料在爐心中使用之情形，也才可以評估與了解其是否能夠達到週期能量之需求，以及符合相關之限制參數，因此，需要借助程式集之模擬計算分析，以產生相關需要之輸出結果，了解是否可以滿足設計之目的，或根據輸出之結果調整相關設計之參數，以完成設計之工作。

此外，設計時所需之輸入參數有些也必須來自模擬計算分析之結果，如，在設計工作進行時，機組通常仍運轉在設計週期以前，故自目前運轉週期至該週期末(end of cycle；EOC)，以及機組運轉至設計週期 BOC 之前的參數，仍必須仰賴程式集之計算而得，所以，選擇適當的程式集並了解其限制是多週期設計分析工作非常重要的一環。

Areva NP 之 CASMO4/MICROBURN B2 程式集其方法論

(methodology)已獲 NRC 審查通過(詳附件 2，分別節錄 NRC 審查通過文件、NRC 提出其可使用範圍限制之安全評估報告(Safety Evaluation Report；SER)與 CASMO4/MICROBURN B2 程式集方法論(EMF-2158(NP))至檢驗與驗證章節(1~7))，故渠使用此程式集進行多週期設計分析之工作，所以，在開始學習渠多週期設計分析工作之前，必須對該程式集進行初步之了解，並熟悉其使用之目的，以求在使用及應用上正確無誤。

### (一)、CASMO4 程式集

#### 1. CASMO4 程式集簡介

CASMO 4 主要是 2-D infinite transport theory solution 以模擬燃料束在週期中運轉之結果，其假設爐心中之燃料束組成皆相同，並為無限長，如此才能簡化計算方程式以節省解 transport equation 之時間。此外，CASMO 4 程式主要之目的係為獲取中子截面資料庫以供 MICROBURN B2 使用，故雖然以 2-D infinite 方式簡化計算，但卻可利用 MICROBURN B2 程式補足其簡化之計算，進一步更精確模擬運轉後之爐心各項參數。

#### 2. CASMO4 程式集適用範圍或使用上之限制



由於 CASMO 4 係為 NRC 審查 methodology 通過之 licensing code，NRC 於審查後會提出其可使用範圍限制之安全評估報告(詳附件 2)，故 CASMO4 程式之使用最大前提，就是要符合 SER 之限制條件(附件 2 之 table 2.1~2.3 因屬機敏性資料故未顯示，惟 Areva NP 在進行多週期設計分析時，以及渠 QA 品管人員皆會進行核對以符合 NRC 之要求)。此外，如前所述，CASMO 4 之計算係模擬 2-D infinite，故主要是模擬單一燃料束(fuel assembly)單一晶格(lattice)之燃料棒組合下，在週期中之表現，所以，在燃料晶格之燃料棒濃縮度與 Gd 位置及濃度組成設定完成後，CASMO 4 僅假設其 2-D 晶格軸向無限延伸，並假設邊界條件(如 void)一致之情況下，模擬計算其在週期不同燃耗點之結果，主要之目的為獲取單一晶格在不同燃耗點下之中子截面資料庫。由於 CASMO 4 係解算 transport theory equation，需耗費大量之時間，故其計算之邊界條件需盡量簡化，如，一次只計算一種 void 之條件...等，惟這樣的簡化，並不影響其計算之結果，只需在 MICROBURN B2 之計算使用上注意配合即可。

## (二)、MICROBURN B2 程式集

### 1. MICROBURN B2 程式集簡介

MICROBURN B2 是 2 group 3-D diffusion theory equation 以模擬爐心在各種不同燃料組成(爐心佈局)下，配合控制棒佈局與爐心水流之控制運轉組合，在週期運轉後之結果。透過 MICROBURN B2 之模擬可以應用在解算爐心在不同設計下之運轉結果，如，找出符合各週期能量下，滿足各項反應度限值與熱限值之爐心佈局與控制棒佈局等設計結果。

### 2. MICROBURN B2 程式集適用範圍或使用上之限制

由於 MICROBURN B2 如同 CASMO 4 一樣為 NRC 審查 methodology 通過之 licensing code，故相同地有 NRC 審查後提出之 SER(詳附件 2)，所以，MICROBURN B2 程式之使用最大前提，亦為符合 SER 之限制條件(附件 2 之 table 2.1~2.3 因屬機敏性資料故未顯示，惟 Areva NP 在進行多週期設計分析時，以

及渠 QA 品管人員皆會進行核對以符合 NRC 之要求)。  
MICROBURN B2 本身是解算 2 group 3-D diffusion theory equation 以模擬爐心不同燃料組成在控制棒與水流量之運轉過程之各項參數結果，故依然會有其解算時間之問題，只是會比 CASMO 4 縮短，因此，在應用上也必須注意其計算時之簡化假設條件，例如，在設計過程中較耗費時間之停機餘裕(SDM)計算，在 MICROBURN B2 程式中有 SDMVD 之指令集可進行，惟當設計完成後必須再以 3-D SDM 之方式再計算一次，以確認其設計結果之一致性。

### (三)、其他輔助計算程式集

透過上述兩大程式集之模擬計算，已可完成多週期設計分析之工作，惟因該程式集之使用需要輸入許多之參數，計算結果之輸出也會盡量以簡單、電腦易於判讀與可節省儲存空間之方式呈現，如此一來將造成工程師在使用上與解讀上極大之不便，更需耗費大量時間在處理輸入與輸出之資料，故除了上述兩大程式集以外，尚需要其他相關輔助程式，如 CAZAM、ALLADIN、MICRO-B2、RODSPLT、FUELRQ、AUTOXSEC、CDM(Core Design Media)..等。主要是提供 CASMO4 或 MICROBURN B2 輸入或輸出處理之相關輔助程式，而且某些輔助程式更提供圖形化之界面以方便工程師節省設計之時間(如圖 3 為 CAZAM 之畫面)。

既然這些輔助程式之性質主要是針對上述兩大程式集之用，因此，在學習上最好是已先了解上述兩大程式集，再了解這些輔助程式開發之目的，以及使用之方法，如此才能夠正確無誤的使用這些輔助應用程式，換句話說，使用者必須先熟悉了解這些輔助程式僅為輔助性質，如此一來，輔助程式之使用可以更有效率與正確，如 CDM 之圖形介面程式可做為輸出 SDM 並據以調整爐心佈局之用，要看計算結果亦可透過使用其他之工具或是自行彙整之方式獲得，以能快速又正確找到想要的資訊，再反應回設計中進行下一次之計算。同時，也唯有透過這樣的方式，才能更進一步依各種不同之需求自行設計開發輔助應用之程式。

**圖 3、輔助應用程式 CDM 之畫面**

### 三、核燃料供應商 Areva NP 多週期設計分析之專業技術實務應用

經由前數周之實習所建立之觀念後，下一步即結合所習得之經驗進行實際之操作練習，以更進一步了解多週期設計分析進行之方式，以及在設計上可能遭遇之問題與解決之方式，如前所述，由於多週期設計分析涉及之專業技術層面較廣，故在短時間內能夠練習到之範圍非常有限，惟仍已完成一個過渡週期之設計分析以及平衡週期設計分析之工作，茲分述如下：

#### (一)、過渡週期分析

不論是經由平衡週期分析或是挑選過去類似週期能量下之填換燃料設計，皆必須在過渡週期中進行調整設計，以符合各過渡週期之能量與相關參數(如圖 1 之設計流程)，首先要做的就是依要設計之過渡週期能量，以及初步挑選之燃料設計，根據經驗法則可估算出該過渡週期需填換燃料之數量(含 sub-batch)，然後建立該設計週期之爐心佈局以符合 SDM，接著建立控制棒佈局以符合 hot target K 與相關熱限值，最後再一次確認相關限制皆已滿足，如此才算完成一個過渡週期之分析，以下分階段說明各練習之情形。

##### 1. 檢驗停機餘裕

在設計過渡週期中，先依經驗法則  $N_i = \frac{E_i}{BADE \times W_0}$  由週期能量估算

出填換燃料之數量，例如 CS1 Cycle 27 週期能量 1,045 GWD，在 BADE 設定為 50.5 GWD/MTU 以及  $W_0 = 0.177$  下，初步之填換燃料數量為 116 束(取 4 的倍數)，sub-batch 可以初步設定成 58 束高 Gd 燃料設計與 58 束低 Gd 燃料設計，然後從前一週期(如 CS1 Cycle 26)至 EOC 之燃耗資料，開始設定填入新燃料之位置、退出之舊燃料與一次燃耗及二次燃耗等舊燃料之移動位置等相關爐心佈局設定，再不斷調整爐心佈局以符合停機餘裕 (shutdown margin)，此過程中除了爐心佈局之調整外，當發現不論如何調整佈局後仍無法符合停機餘裕時，可能會先考慮調整 sub-batch 中高 Gd 與低 Gd 之比例，如換成 60 束高 Gd，56 束低 Gd，或考慮燃料設計中之 Gd 濃度或根數，因此，當符合停機餘裕後會得到一新的爐心佈局與搭配之燃料設計，惟 Areva NP 表示本次實習時間過短，需要練習的技術太多，故暫

不考慮花太多時間練習到調整燃料設計 Gd 之部份，不過在練習過程中，已完成利用程式集調整爐心佈局以了解對停機餘裕之變化，並更進一步調整至符合整個週期停機餘裕之限值。如圖 4 為調整 SDM 過程中發現在(7,6) control cell 之 SDM 值-0.9% 為最低，故調整其燃料位置後之爐心佈局如圖 5，再依調整後之爐心佈局計算後可以得到 1.08%(如圖 6)已符合( $\geq 1.0\%$ )之限制值。

## 2. 檢驗 hot target K 與相關熱限值

在得到滿足停機餘裕之爐心佈局後，接下來就是實際模擬爐心運轉之過程，也就是透過調整控制棒位置與水流，以使燃料發生反應產生熱量達到週期能量之要求，而因為核子物理之特性，可以透過檢驗產生能量之過程中，每一個燃耗點需達到之 hot target K，以確認產生能量過程是可以符合目標能量，又可以符合 CPR、MAPLHGR、LHGR 熱限值之要求。此部份之練習涉及較多之基本觀念(如何在觀察發生之現象或結果後適當調整應調整之參數)，故 Areva NP 花較多時間培養建立這些基本觀念，以便日後不論是在建立多週期設計分析能力上，或是建立自主技術上皆能夠有所助益。

在本階段之過程中，首先即建立在某一階段之燃耗點，先計算控制棒全出(all rod out；ARO)，循環水流量設定在一般運轉之範圍中(如假設核一廠可以運轉在 82%~98%，先設定在 88%)之情形下，可達到的  $k_{eff}$  為多少，然後可以經由此  $k_{eff}$  與 hot target K 之差異估算出約需要插入多少的控制棒可以控制如此之反應度差異，如此可以依該燃耗點之棒序(如 A2 sequence)，決定插入多少之深棒(deep rod)與淺棒(shallow rod)，再計算更改控制棒位置後所得之  $k_{eff}$ ，當可以達成該燃耗點之 hot target K，必須一併檢驗 CPR、MAPLHGR、LHGR 熱限值，再次進行控制棒位置之微調以同時滿足 hot target K 與 CPR、MAPLHGR、LHGR 熱限值，如此反覆進行每個燃耗點之調整以得到整個週期之控制棒佈局，如圖 7，為調整控制棒佈局過程時， $k_{eff}$  之變化情形，在此情形下之相關熱限值之變化則如圖 8，此時，可以發現 CPR 不滿足其限制值( $\geq 8.0\%$ ，在程式集之計算結果轉換後為  $\leq$

0.92)，故可以觀察燃耗過程中 tilt%之變化。因為 tilt%代表之意義為燃料上半部輸出功率與下半部之比例，tilt%之數值越傾向負數，則表示下半部輸出之功率越大，反之，越傾向正數表示上半部輸出之功率越大。一般較好的設計為從 BOC 至 EOC，由下半部往上半部輸出功率。由此可知，在圖 9 中約 4400~6600 之燃耗點表現較差，所以可以嘗試再繼續調整此階段之控制棒佈局以得到較佳之燃料使用情形。如圖 10~12，經過再次調整之後可得符合熱限值之結果。經由這樣之過程可以了解並學習到許多在進行多週期設計分析時，各個過渡週期設計調整與解決問題之應用方法及經驗。

### 3. 檢驗熱過剩反應度

在調整完成控制棒佈局後，另一項必須檢驗之重點為熱過剩反應度(hot excess reactivity)，因為熱過剩反應度代表在無控制棒控制，循環水流量調整至最大之情況下，爐心之  $k_{eff}$  可以達到之數值。在這樣的情況下，若是  $k_{eff}$  太小，則一但爐心內部反應度有所變化時，很有可能會使爐心無法維持於全功率運轉而造成能量損失；反之，若是熱過剩反應度太大，則表示要符合 hot target K 所需要之控制棒密度要較高，將造成運轉上調整控制棒位置之複雜度與難度。所以，在設計上之限制值為在 BOC 時大於 1%，後續週期中之熱過剩反應度則因與運轉策略有關，且一般設計上皆有可能變動，故並無限制數值，僅需維持適中不要太高或太低即可。此外，另一項觀察的重點在於整個週期中熱過剩反應度之變化率不要超出再循環水流量可控制之反應度變化範圍。此因若假設再循環水流量每增減 1% 可控制 0.3 mK(與機組之設計有關)，則當機組再循環水流量控制範圍介於 85%~98% 時，表示可控制之反應度範圍約為 3.9 mK，此時整個設計週期之熱過剩反應度斜率變化最好不要超過 3.9 mK，否則將造成運轉過程中若需將控制棒全出時(通常在靠近 EOC 時)，僅靠循環水流量無法應付反應度之變化量，而已無其他控制方法可應用以達成所需要之目標。所以，在檢視熱過剩反應度之變化時，整個週期之曲線變化最好盡可能平滑，如圖 13。

另一項必須注意的是在控制棒佈局建立之後，因為已與原測試 SDM 之控制棒佈局不同，所以在進行熱過剩反應度測試時，必須再次檢驗 SDM。如此一來，在所有之檢驗參數中使用的爐心佈局與控制棒佈局才會一致。雖然說由此來看，各項參數在調整過程中對彼此皆會有影響，不過其影響程度還是有所不同，所以，依然可以依其影響之程度逐步建立相關之參數，例如，雖然在此仍需要再此進行 SDM 之檢驗，惟 SDM 與爐心佈局較有關係，即便是控制棒佈局調整過，再次進行驗算時對 SDM 之變化也不致於過大，而造成需要再次調整爐心佈局讓所有設計重新再進行一次，也就是說仍然可以在一開始檢驗 SDM 時先使用暫時的控制棒佈局，在爐心佈局調整好之後，再來建立實際的控制棒佈局，然後再回頭再次檢驗 SDM 以求使用之爐心佈局與控制棒佈局一致。

#### 4. 其他參數

在完成上述步驟後，必須再檢驗其他參數是否滿足，如，GE SIL 380、徑向最大功率尖峰因子、...等，因這些參數僅為設計時必須注意避免違反之參數，在實際設計進行中通常已加以考慮，因此，在最主要之工作完成之後再進行覆核確認即可。當上述應符合之所有參數皆滿足後，即表示已完成一過渡週期之設計分析，可接續進行下一過渡週期之分析，如此不斷往下分析直到主要設計填換批次燃料完全退出爐心為止，此時才可以真正評估本設計填換批次燃料之表現，如， $BADE = \frac{\sum N_i \times EXP_i}{\sum N_i}$

等。透過這樣的實際練習已可了解到單一週期爐心設計之方法，以及相關問題之解決，惟倘若時間與相關條件許可下，仍需要不斷地練習以真正掌握到相關技術之精髓。

#### (二)、平衡週期設計練習

由於多週期設計分析是從選擇適合的燃料設計(濃縮度等級)開始，也就是挑選適合的燃料設計以進行過渡週期分析，因此，在一開始如何找到適合之燃料，也成為另一項關鍵技術，若是挑選或設計出較好之燃料，則在過渡週期設計分析微調時，可以在調整數次後非常迅速地完成各過渡週期設計；相反地，若是挑選之設計較差，則不但會大大地增加設計的時間，也可能會造成過渡週期完成後，但

整個填換批次燃料之設計參數不符合之情形。Areva NP 通常是透過平衡週期之設計，找到可以符合平衡週期能量之燃料，然後再進行過渡週期分析以調整出符合各過渡週期之燃料。所以，平衡週期設計分析之方法也是相當重要的一環。

所謂平衡週期之概念為每一個週期爐心佈局與控制棒佈局皆相同，且爐心中所有填換燃料之數量(含 sub-batch)與型式皆屬相同，在此情況下，每一個週期之  $k_{eff}$  變化接近一穩定之數值，此時才算是達到平衡。因此，首先要確定的就是是否已達平衡週期，因為要進行平衡週期之設計當然要在平衡週期調整相關參數以符合熱限值才有意義，否則在未達平衡之狀態進行設計，爐心的狀態仍未達平衡，模擬出來的參數仍屬不確定(即非設計填換燃料之影響仍未完全排除)，此時進行調整所得到的設計完全不適用於平衡週期。所以，必須根據平衡週期之狀態下所得到之相關參數值進行燃料設計之調整，才算是所謂的平衡週期設計。

此外，也是因為必須經過一段時間才能達到平衡，因此，在設計上之方法，也有別於一般過渡週期之設計，並非在調整完參數後，將新的設計參數再輸入到尚未達平衡之前重新模擬，而是先在單一平衡週期調整設計，待單一平衡週期符合後，才將新的設計再從未平衡週期開始模擬，以求快速達成設計，避免每調整一次就要耗費大量的時間在等待從未平衡算到平衡。

### 1. 達到平衡週期

由於開始分析時仍有前數週期非屬設計填換批次之燃料留於爐心中，故需要使用相同之爐心佈局與控制棒佈局不斷模擬週期燃耗之過程，隨著不同型式燃料逐漸退出爐心，設計填換批次之燃料不斷填入爐心，爐心內殘留的效應將逐漸消除，因此，可以觀察到每個週期的  $k_{eff}$  會逐漸趨近於一穩定的數值，此時才算是達成平衡週期。如圖 14 所示，在練習時候係使用本公司核一廠一號機以平衡週期能量 895 GWD 為目標，設定填換燃料 108 束，其中 32 束為低 Gd 燃料，76 束為高 Gd 燃料，然後以相同之爐心佈局及控制棒佈局，從週期 25 開始模擬並不斷觀察  $k_{eff}$  之變化，由圖 14 可以發現一開始因為還有其他不同燃料之效應存在，所以  $k_{eff}$  變化的幅度非常大，不過隨著燃料不斷退出



與填換， $k_{eff}$ 之變化幅度逐漸縮小，大約至週期 34 可以達到平衡之狀態，此時可以說已達到平衡週期，也是平衡週期設計的第一步。

## 2. 調整設計參數之方法

與過渡週期設計相同，平衡週期設計依然必須符合相關之限制參數，如，SDM、熱過剩反應度...等。不同的是在尚未達成平衡以前，計算出的各項參數皆含有其餘燃料之效應，故並非算是平衡週期所要符合之目標，所以，必須以達成平衡週期時所計算出之參數為準進行設計。在此所謂的調整設計參數係指調整設計參數之技巧，其對於要滿足 SDM、hot target K、熱過剩反應度與相關熱限值之觀念上是與前述單一過渡週期一致，只不過若是在達到平衡週期後再依狀況調整設計，然後再將新的設計再次由未平衡週期開始模擬，如此單一次的調整就要耗費許多時間，因此，Areva NP 指出可以利用一技巧先找出符合各項限制值的設計，然後才將符合之設計重新再從未平衡週期(即週期 25)開始模擬，如此可以使調整之速度加快，避免耗費太多時間在達成平衡上。例如：已知在週期 34 可以達成平衡，假設此時檢驗 SDM 時發現不符合，依相同之觀念此時必須調整爐心佈局，於是在調整出新的爐心佈局後，不必將新的爐心佈局再從週期 25 開始計算，然後再到週期 34 檢驗是否符合，而是將調整過後之爐心佈局再模擬 1 個週期至週期 35，並不斷地在此單一週期重複調整，直到週期 35 之 SDM 符合後，再以相同之方式繼續在週期 35 調整控制棒佈局以符合 hot target K 與熱限值，並檢驗所有應符合之參數後，才再將符合這些參數所得到之爐心佈局與控制棒佈局設計，再由週期 25 開始模擬計算。換句話說，即類似進行週期 35 之過渡週期分析，如此只需要 1 個週期的設計時間，即可得到較接近之設計，便於以較迅速之方式得到平衡週期設計。圖 15 為簡略之調整設計參數方法之比較。

### (三)、練習調整不同 sub-batch 之數量

由於在多週期設計分析之過程中，當發現參數無法符合之情況下，可能會視需要調整不同設計型式之 sub-batch 數量(如高 Gd 與低

Gd)，因此，在本次實習期間亦練習調整其數量，並觀察 sub-batch 數量變化對設計參數之影響，由於在練習之 sub-batch 型式設計高 Gd 之濃縮度較低，低 Gd 之濃縮度較高，所以，在總填換數量不變之情形下，增加高濃縮度之 sub-batch 數量會造成  $k_{eff}$  曲線上移；相反地，若是增加低濃縮度之 sub-batch 數量則會使  $k_{eff}$  曲線下移。相對來說，因為高濃縮度之設計型式 Gd 較低，所以，也會一併影響 SDM 曲線下移減少 SDM；而增加低濃縮度高 Gd 燃料型式之影響則為使 SDM 曲線上移增加 SDM。

因此，在多週期設計分析之過程中，當發現不論如何調整爐心佈局皆無法使 SDM 符合限值，或是 SDM 限制出現之 control cell 位於某些一次燃耗之燃料附近，則可以考慮增加高 Gd 之 sub-batch 燃料設計，利用這些新燃料之 Gd 壓制一次燃耗燃料之反應度，以增加 SDM；同樣地，若是週期能量不足，則可以考慮增加高濃縮度設計之 sub-batch 燃料，如此可知，可視不同之需求搭配不同之設計策略。

#### (四)、研讀本公司 CS1R27 批次之多週期設計分析報告

雖然實習期間正值本公司 CS1R27 批次多週期設計分析作業進行中，惟因對於多週期設計分析觀念之養成上，不論是用那一個週期並無差異，且在如此短期時間內仍有許多重要之觀念需要建立，因此，Areva NP 表示此時經驗之建立更重要，況且當相關觀念建立後亦有助於了解 CS1R27 批次多週期設計分析之進行方式，故在練習上述之多週期設計分析應用作業時，並不直接以 CS1R27 批次進行，而採用研讀 CS1R27 多週期設計分析之報告，並與練習之作業相互驗證之方式，如此有問題之處亦可隨之澄清。

透過以上的實作練習方式，不但已在短時間內了解 Areva NP 多週期設計分析進行之方式，同時，對於程式集之使用方式也更加熟練，這樣的實作方式不論是在觀念的養成上，或是實務操作設計之經驗上皆有相當程度之助益。

圖 4、檢驗 SDM 最低值位置

圖 5、調整爐心佈局

圖 6、爐心佈局調整後 SDM 符合

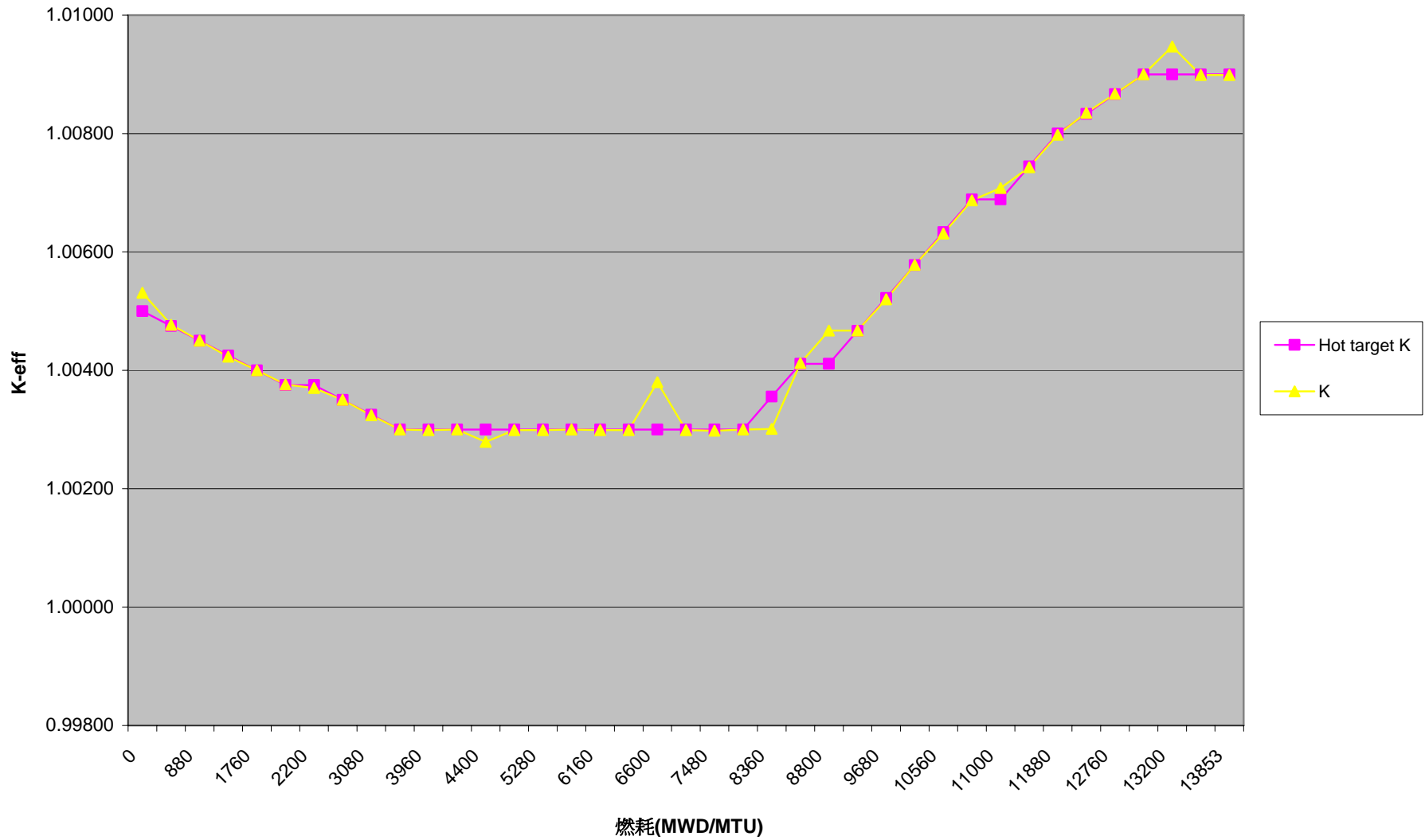


圖 7、調整控制棒佈局過程  $k_{eff}$  之變化

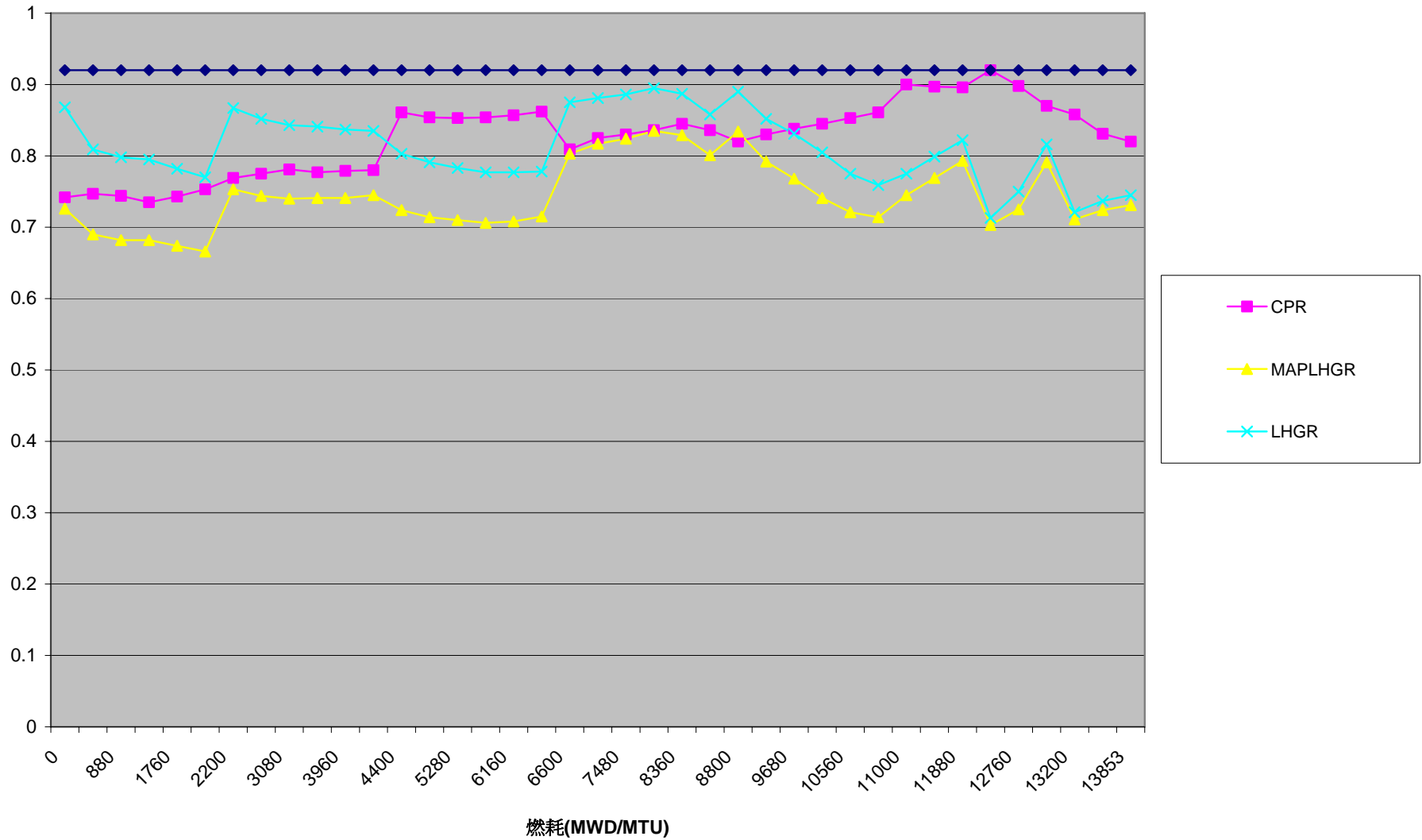


圖 8、調整控制棒佈局過程熱限值之變化(≤0.92)

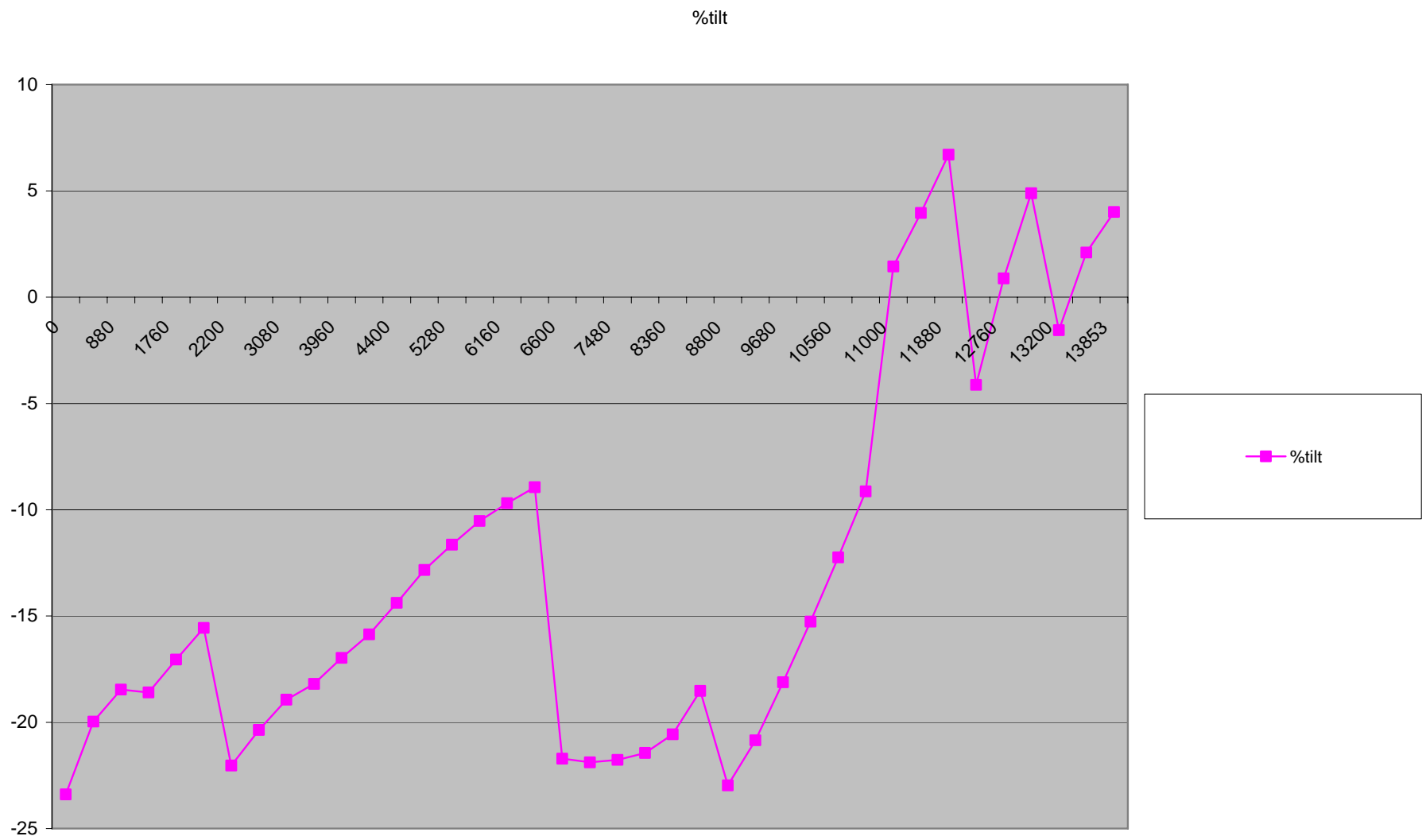


圖 9、調整控制棒佈局過程 tilt%之變化



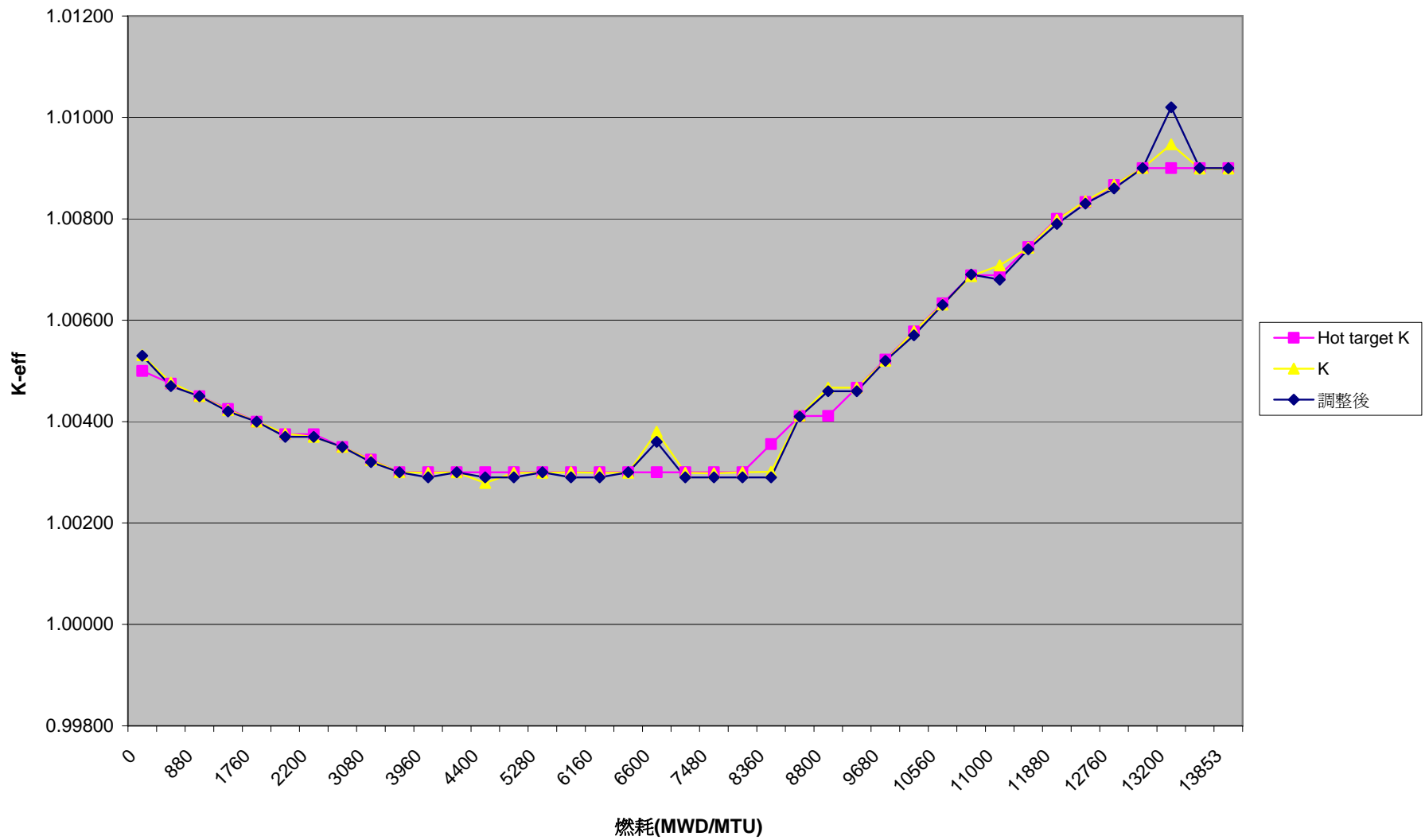


圖 10、調整後  $k_{eff}$  之變化

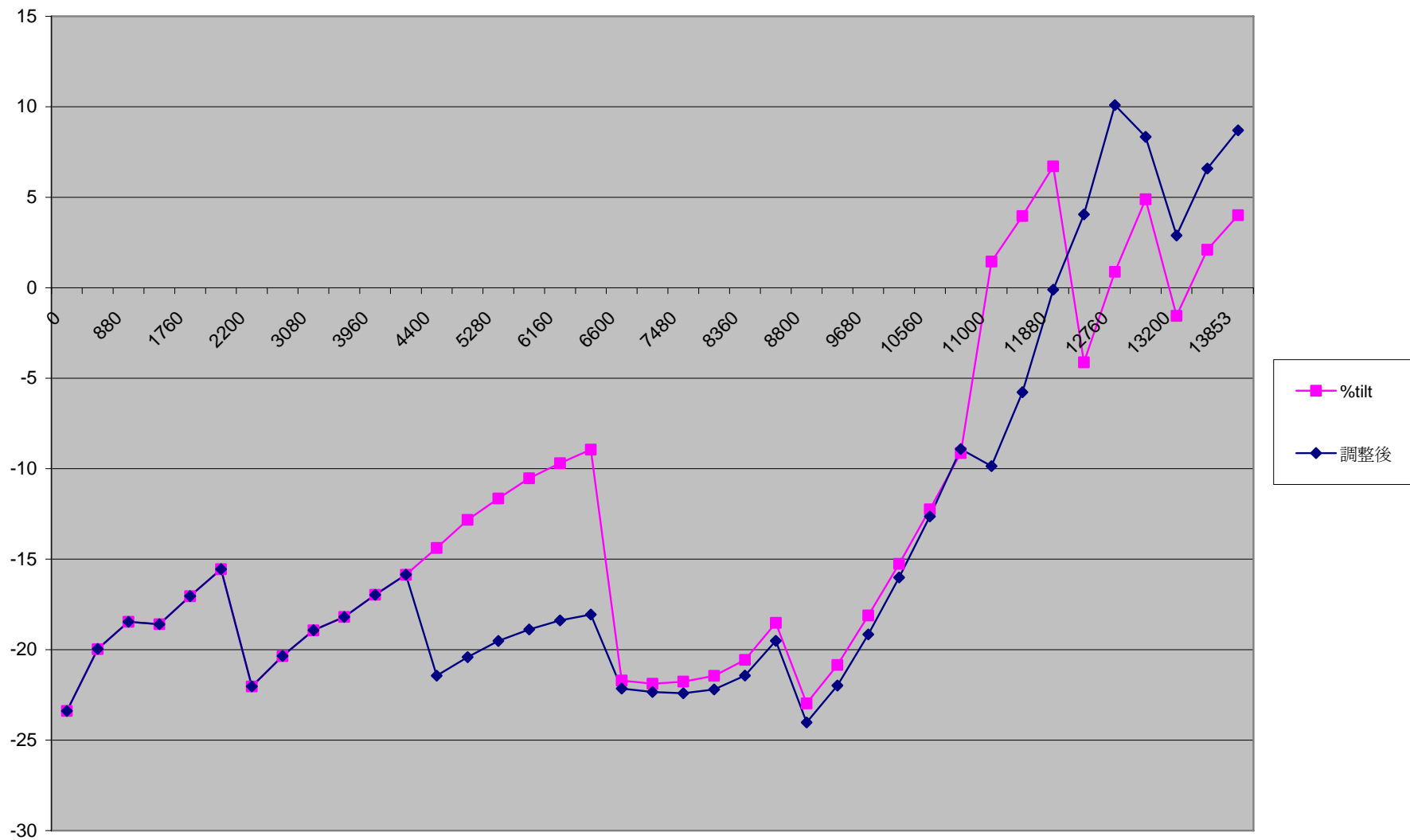


圖 11、調整後 tilt%之變化

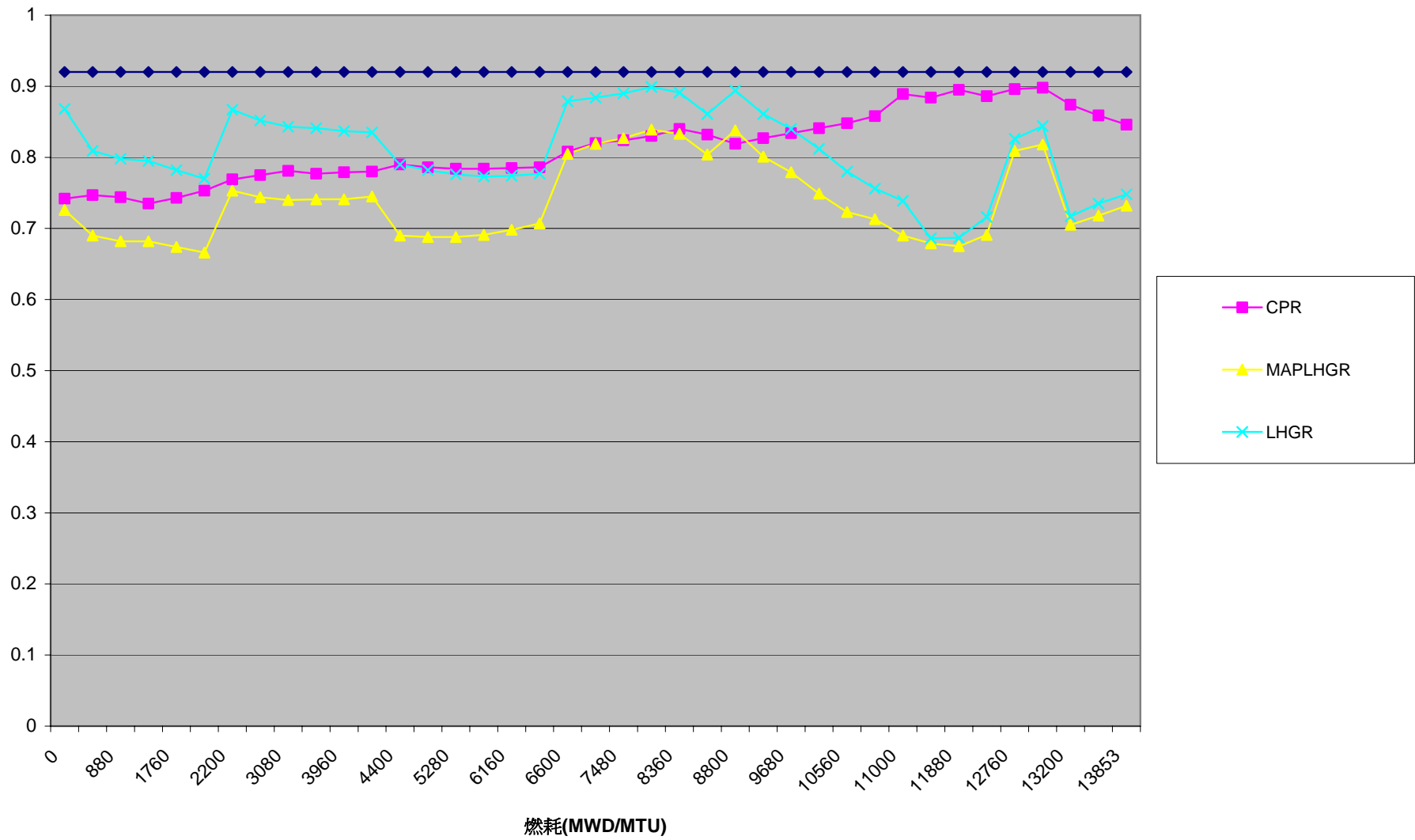


圖 12、調整後熱限值之變化( $\leq 0.92$ )

### HEXR

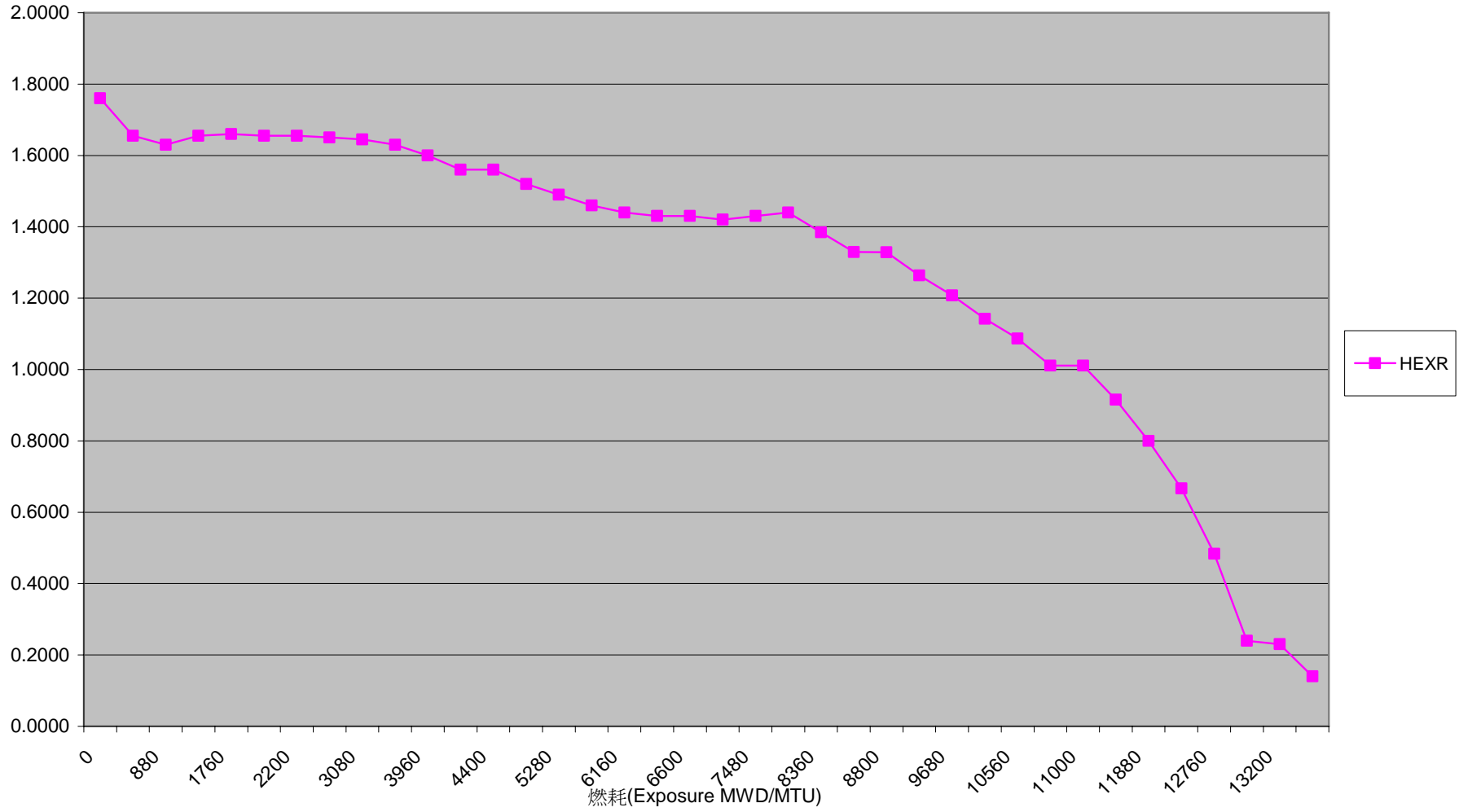


圖 13、熱過剩反應度之變化

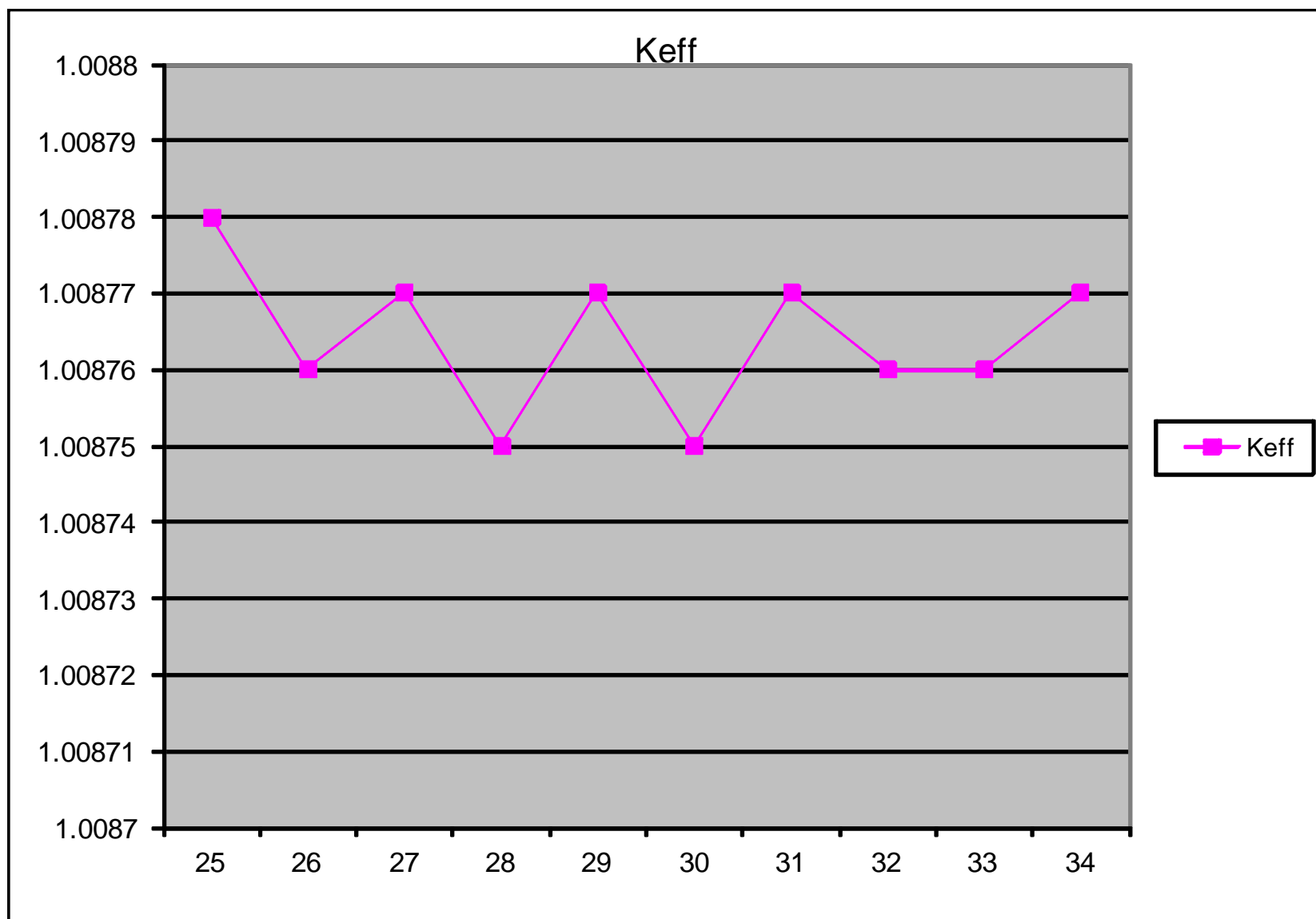


圖 14、模擬平衡週期過程中  $k_{eff}$  之變化

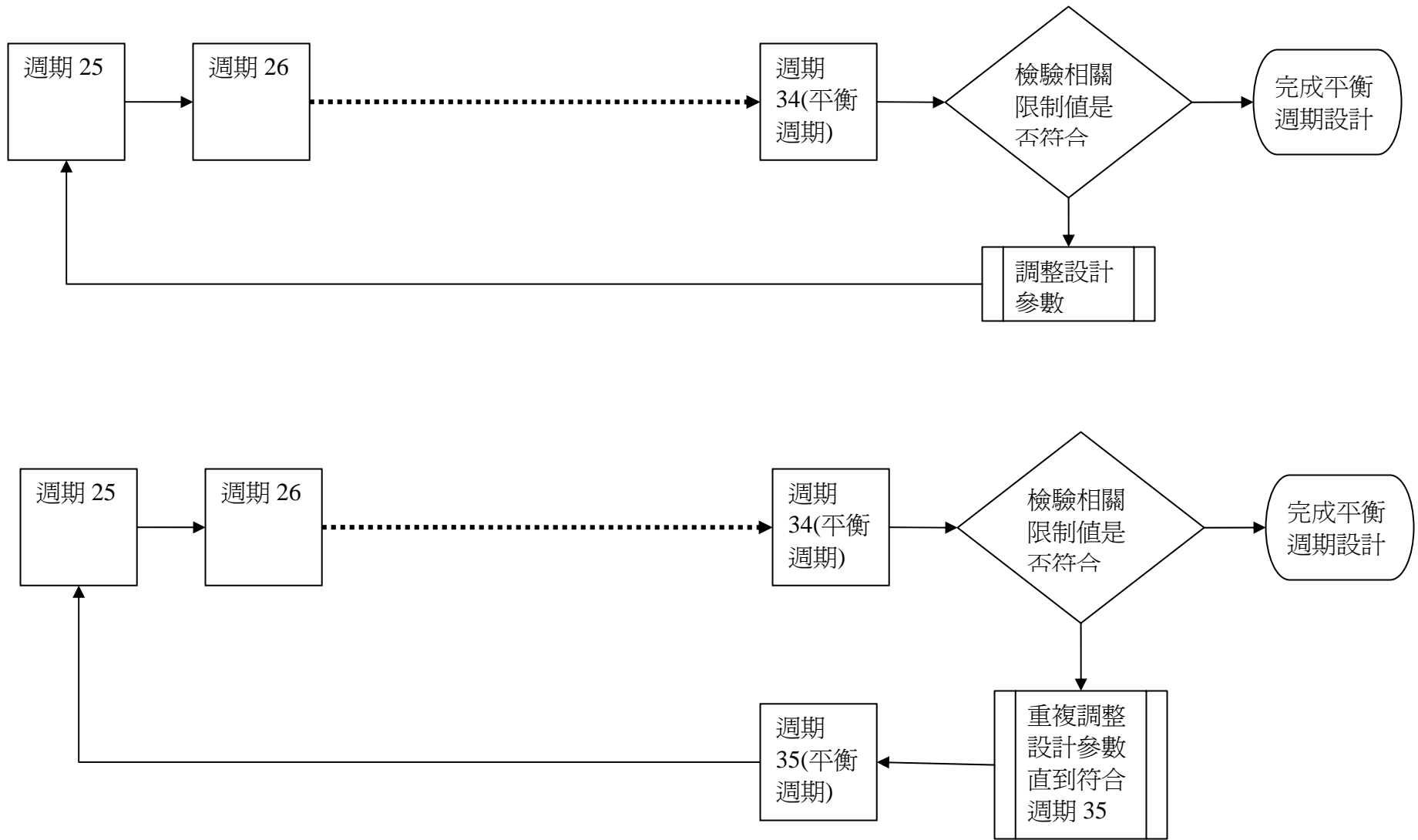


圖 15、平衡週期調整設計參數方法之比較

## 肆、心得與建議事項

本次出國實習獲益良多，已順利完成瞭解與學習燃料供應商多週期設計分析技術，以及嘗試建立自主多週期設計分析能力之目標，雖說因受限於時間因素尚有許多更值得深入探討之內涵與技術，惟仍已建立許多多週期設計分析技術之重要觀念。關於本次出國任務達成之情形說明如下：

### 一、了解核燃料供應商多週期設計分析技術

本次任務主要希望透過學習核一、二廠核燃料供應商 Areva NP 之多週期設計分析技術，能了解掌握多週期設計分析之技術。而透過本次之實習機會，已能了解 Areva NP 在多週期設計分析技術上之作法，以及對於多週期設計分析上許多重要之觀念及遭遇問題解決方式，透過與 Areva NP 經驗豐富之工程師討論之方式，更能了解在面對多週期設計分析上之問題時，如何能夠快速掌握到問題出現之可能原因，以求進一步快速解決問題。此外，也更了解到多週期設計分析技術涉及之層面與觀念較多，並非一朝一夕就能透徹了解其精要，仍然必須不斷探究其設計上相互影響之關聯，以在可運用之資源與環境下逐步培養建立自主之多週期設計分析技術。

### 二、熟悉並應用核燃料供應商多週期設計分析程式集

由於多週期設計分析技術需要進行許多較複雜之計算，因此，需要透過適當的程式集進行模擬計算分析，才能得知是否達成相關之設計要求。Areva NP 係使用 CASMO4/MICROBURN B2 程式集進行多週期設計分析之工作，透過本次實習之機會已能運用此程式集進行多週期設計分析之工作，同時亦了解此程式集使用上之限制與應注意事項。透過直接學習主要程式集之方式，亦有助於了解 CASMO4/MICROBURN B2 程式集之使用方式與目的，如此可以避免過度依賴輔助應用程式，在程式集之了解與使用上更具彈性，所以，未來不論在程式集之選擇上，或是因應不同目的之使用上，皆能較具彈性且更精確，並可視實際之需要，在條件許可下進行開發各項輔助介面程式之工作。

### 三、完成核燃料供應商多週期設計分析能力之專業技術實務應用

最好的學習就是實務上之應用，本次之訓練實習即以實際設計使用之方式，進行最佳之訓練。同時在有限的時間下，盡量安排大部分之時間在實務運用上，如此才能夠將學習到之重要觀念與實務相互印證，透過這樣將理論與實務相互結合之方式，更進一步了解與掌握多週期設計分析之關鍵技術，也更能加深在重要觀念上之經驗，對於學習上與技術之建立皆大有助益。本次之實習運用 Areva NP 之多週期設計分析程式集，實際進行一次過渡週期之分析，完成爐心佈局調整、控制棒佈局建立、平衡週期設計參數之調整以及不同 sub-batch 數量之影響等重要實務應用，不僅是對多週期設計分析技術上之達到熟練之目的，也更能夠培養許多問題解決上之實務經驗，以期能深入了解多週期設計分析之技術，並嘗試建立自主之技術。

除了順利完成本次任務之外，本次出國實習所得不僅是在技術面，連帶也獲得許多在工作上與語言學習上之觀念，茲將本次之心得整理如下：

- 一、多週期設計分析之技術因涉及較多之變數，不確定因素較多，因此，在設計上通常係以長期規劃為主，與爐心設計之目的有所不同，惟未來仍可嘗試比較週期能量之變化對於批次大小與燃料設計之影響程度，尤其是分成後續過渡週期變動幅度小與大之差異，以求更進一步掌握未來多週期設計分析報告之微小差異。
- 二、Areva NP 之多週期設計分析技術相當完整與成熟，確實值得成為借鏡與學習之對象，藉以逐步開發建立屬於本公司自主之多週期設計分析技術。
- 三、多週期設計分析需要使用解算理論方程式之程式集，每一種程式集之開發必有其方法論、相對之目的與假設條件，因此，在了解多週期設計分析技術後，可選擇適當之程式集進行多週期設計分析之工作，惟必須了解其使用之前提與限制條件，以求適當應用程式集進行設計分析之工作。
- 四、處理輸入與輸出之輔助介面工具程式可依使用者之需求進行開發，惟最大之前提與要求為對主要之程式集已充分了解其輸出與輸入相對應之參數，如此才能在考慮時間、人力等因素後，依據



目的進行個別開發與應用，藉以準確地提昇設計之便利性與效率。

- 五、另外，此次出國實習期間發現對於節省行政資源的努力上，似乎各公司皆是一致的方向，在實習期間發現 Areva NP 這樣的一個世界性集團，其不論是在行政文具之使用管控上，或是影印機、印表機與掃描器等工作所需之硬體上，皆是以多人共用之方式進行，且也盡量減少彩色列印與單面影印，這點本公司之成效也不遑多讓。

在獲得如此豐富之經驗後，對於出國實習之任務已有相當之成效，也因此有下列幾項建議事項可供未來之參考：

- 一、目前本公司須依核燃料製造廠家之核燃料設計及多週期設計結果採購製成核燃料供核能電廠使用，故核燃料多週期設計技術及能力可決定本公司核燃料營運之安全性與經濟性。而多週期設計分析技術需搭配使用多週期設計分析程式集，若能適時引進多週期設計分析程式集與相關輔助介面應用程式，將有助於本公司逐步研究多週期設計分析技術，並逐步建立與提昇自主設計之能力，進一步提昇核燃料營運業務之品質。
- 二、由於多週期設計分析涉及之層面與技術較廣，雖在有限之時間下完成所有關鍵技術之學習，惟未來仍值得繼續探究並深入了解其內涵，以精進多週期設計分析技術。
- 三、本次受訓獲益良多，不僅是在技術面達成目標，連同工作上觀念與增加語言之熟練度也大有斬獲，未來在時間與經費許可之情況下，應多加考慮提供類似之訓練機會，以提昇本公司人員之技術與相關能力。