

發明專利說明書

594790

(填寫本書件時請先行詳閱申請書後之申請須知，作※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：91124695 ※IPC分類：G21C1/00

※ 申請日期：91-10-24

壹、發明名稱

(中文) 在核子反應器之操作期間控制變數之連續最佳化之系統及方法

(英文) SYSTEM AND METHOD FOR CONTINUOUS OPTIMIZATION OF CONTROL-VARIABLES DURING OPERATION OF A NUCLEAR REACTOR

貳、發明人 (共 3 人)

發明人 1 (如發明人超過一人，請填**說明書發明人續頁**)

姓名：(中文) 威廉 伊爾 羅素二世

(英文) WILLIAM EARL RUSSELL, II

住居所地址：(中文) 美國北卡羅林那州威明頓市阿伯瑞通路 1044 號

(英文) 1044 ARBORETUM DRIVE, WILMINGTON, NC 28405,

U.S.A.

國籍：(中文) 美國

(英文) U.S.A.

參、申請人 (共 1 人)

申請人 1 (如申請人超過一人，請填**說明書申請人續頁**)

姓名或名稱：(中文) 美商環球原子燃料公司

(英文) GLOBAL NUCLEAR FUEL-AMERICAS, L. L. C.

住居所或營業所地址：(中文) 美國北卡羅林那州威明頓市卡斯多海尼路 3901 號

(英文) 3901 CASTLE HAYNE ROAD, WILMINGTON,

NORTH CAROLINA, U.S.A.

國籍：(中文) 美國

(英文) U.S.A.

代表人：(中文) 占姆斯 W. 密奇西

(英文) JAMES W. MITCHELL

發明人 2

姓名：(中文) 大衛 約瑟 克羅帕柴克

(英文) DAVID JOSEPH KROPACZEK

住居所地址：(中文) 美國北卡羅林那州庫爾海灘市庫爾杜尼路 325 號

(英文) 325 KURE DUNES LANE, KURE BEACH, NC 28449, U.S.A.

國籍：(中文) 美國

(英文) U.S.A.

發明人 3

姓名：(中文) 格蘭 亞藍 華福德

(英文) GLEN ALAN WATFORD

住居所地址：(中文) 美國北卡羅林那州威明頓市芬妮恩路 7005 號

(英文) 7005 FINIAN DRIVE, WILMINGTON, NC 28409, U.S.A.

國籍：(中文) 美國

(英文) U.S.A.

捌、聲明事項

☐ 本案係符合專利法第二十條第一項 ☐ 第一款但書或 ☐ 第二款但書規定之期間，其日期為：_____

☒ 本案已向下列國家（地區）申請專利，申請日期及案號資料如下：

【格式請依：申請國家（地區）；申請日期；申請案號 順序註記】

1. 美國；2001 年 11 月 07 日；09/683,004

2. _____

3. _____

☒ 主張專利法第二十四條第一項優先權：

【格式請依：受理國家（地區）；日期；案號 順序註記】

1. 美國；2001 年 11 月 07 日；09/683,004

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

6. _____

7. _____

8. _____

9. _____

10. _____

☐ 主張專利法第二十五條之一第一項優先權：

【格式請依：申請日；申請案號 順序註記】

1. _____

2. _____

3. _____

☐ 主張專利法第二十六條微生物：

☐ 國內微生物 【格式請依：寄存機構；日期；號碼 順序註記】

1. _____

2. _____

3. _____

☐ 國外微生物 【格式請依：寄存國名；機構；日期；號碼 順序註記】

1. _____

2. _____

3. _____

☐ 熟習該項技術者易於獲得，不須寄存。

(1)

玖、發明說明

(發明說明應敘明：發明所屬之技術領域、先前技術、內容、實施方式及圖式簡單說明)

發明背景

本發明大體上與核子反應器運作最佳化和管理有關。更特別地，本發明針對識別最佳反應器工廠操作設定、和一持續進行的管理策略(結合複數個操作控制-變數的工廠特定限制之考量)，舉例來說，例如控制葉片定位、週期流量策略、順序交換的位置、和與一或多個反應器核心燃料供給週期當中一核子反應器工廠的運作相關之對品質重要的其他控制變數。

一核子反應器工廠包括許多不同個別元件，不同個別元件有動態的特性，動態的特性可能影響設計來引出反應器核心更有效率的運作之任何特定策略。舉例來說，一核子反應器核心有許多，例如數百控制葉片，每一控制葉片在一或多個燃料消耗週期的整個動向期間需要場所和位置識別。除此之外，如果一個人要設計或發展用以在一特定反應器工廠最佳化一反應器核心的效率之有效的控制策略，影響一反應器核心的反應活動和整體效率的許多其他可控制元件和因數必須納入考慮。這樣的變數"操作控制"(在此處也稱為"獨立控制-變數")包括在反應器的運作之前或期間，反應器當中可個別地調整或設定之各種實際元件和可控制的操作情況配置。

舉例來說，在反應器核心當中各種控制葉片的位置，是大大地影響一反應器所產生的電力輸出和運作的整體效

(2)

率之許多獨立可控制的變數中之一。其他的操作控制包括例如"核心流量"(通過核心的水流之速率)、和順序交換的時間安排、或控制葉片群改變的露出時間間隔之可控制變數。這些所謂變數操作控制的每一個可視為一獨立的"控制-變數"，其對反應器核心的整體效率有一可測量的效應。由於這些獨立控制-變數可能出現的大量可能的不同操作數值和數值的組合，使用傳統電腦輔助的方法嘗試分析、和最佳化可能影響核心反應和效率的大部分(即使不是所有)個別影響，是一艱鉅的挑戰和非常耗時間的工作。

為了要供給和維持一必需的能量輸出，反應器核心週期地以未使用的燃料棒叢供給燃料。在一燃料供給和下一燃料供給之間的期間普遍稱為一"燃料週期"、"核心週期"、或運作的"週期"，且依特定反應器工廠而定，是類似十二到二十四個月那樣。在週期的進行間，核心的過剩能量能力，定義為過度反應或"過熱"，由核心冷卻劑(水)流量和控制葉片控制。通常，一反應器核心包含許多這樣的控制葉片，控制葉片裝在選擇的燃料棒叢之間、且軸狀地安置在核心當中。

在一反應器中利用的控制葉片之總數隨核心大小和幾何學而改變，且通常是在五十(50)和一百五十(150)之間。控制葉片的軸位置(舉例來說，完全插入、完全抽回、或在插入抽回之間)是以控制過度反應的需要、和滿足其他操作限制，例如熱或反應程度為基礎。對每一控制葉片來說，可能有，例如二十五或更多種可能的軸位置，和二十

五或更多個"露出"(使用的期間)步驟。考慮可減少在任一時間可應用的控制葉片之數目的對稱和其他需求，即使對最簡單的安排，控制葉片位置可能有超過數百萬種存在的組合。更大的安排可能有超過十的百次方(1×10^{100})種可能的配置。然而，這些配置只有一小部分會滿足所有適用設計和安全限制，且那些中只有一更小部分證明是經濟的。而且，控制葉片的軸定位也影響核心週期能量和潛在的熱限度。由於想要最大化核心-週期能量以便最小化核燃料週期成本，當嘗試最佳化操作的管理策略時，發展一最佳控制葉片定位策略是應該納入考慮的再另一類型的獨立控制-變數最佳化問題。

過去，週期運作和核心管理(包括控制葉片定位、順序交換長度、和核心流量選擇)主要根據反應器工程師的過去經驗以"嘗試錯誤"方式決定。由於需要快速回應以變更工廠操作情況的情形，一反應器工程師可能在一非常短的時框當中，面對敘述超過一百或更多獨立控制-變數的數值之艱鉅挑戰。如果一特定設計限制未由所識別的一種安排滿足，那麼修改安排並執行一電腦模擬。因為評估即使一單一特定獨立控制-變數之數值改變的衝擊所需要相對長的電腦模擬時間，在使用這個程序識別出一適當的操作策略之前通常需要幾個人-週的人力和電腦資源。而且，使用這種嘗試錯誤方式，一旦決定了滿足所有可識別的設計和安全限制的一操作策略，可能變成所識別出的安排不提供最佳的週期-能量經濟。在那情況，嘗試錯誤選擇程

序必須繼續，直到那些工程師相信已經識別出一最佳操作策略。然而，實際上，非常可能是與過去經驗相矛盾的一特定核心安排，實際上可能是將要使用的最佳操作策略。

很多系統已經嘗試藉由實施對反應器工程師的顯示介面之各種改良(舉例來說，見美國專利第5,859,885號、第4,853,175號和第5,812,622號)，資訊的資料管理之改良(舉例來說，見美國專利第5,793,636號和第4,459,259號)，朝向反應器運作警報的改良(舉例來說，見美國專利第5,311,562號和第5,023,045號)，和反應器的即時監控的改良(舉例來說，見美國專利第4,997,617號、第5,309,485號；第5,392,320號和第5,091,139號)處理上述問題的各種態樣。雖然這樣的努力多少增進了一核子反應器的運作所必需的即時監控和資訊的顯示，但沒有一種提供判斷一整個完整週期或更長週期的獨立控制變數之適當設定所需要的工具。而且，上述習知技術系統在任何操作策略的發展中，全部大大仰賴一人工輸入/資料選擇程序。

已經有一些嘗試藉由使用所謂"決策樹"或"神經網路"技術，提供對上述問題的一或多個態樣之自動化預報的能力。舉例來說，頒發給Impink, Jr.等人的美國專利第4,552,718號揭露一種系統，用以監控一核子反應器的操作狀態，提供"脫離-正常"情況的指示，和提供反應器可藉其以"決策樹"邏輯的方式回復到正常情況的一運作路徑。當提供了適當的支援資料使得原因和效應關係(例如整體反應器問題和必然的人類反應)被良好定義時，這樣的"決策樹"技

術能夠對有限數目的自變數(independent variable)提供正確的邏輯。然而，對一沸水反應器(BWR)的整個完整運作週期的運作之如上所述的所有目前和將來之自變數的最佳化，基本上需要一龐大數目的原因/效應關係且不是特別行得通。同樣地，頒發給 Takeuchi 等人的美國專利第 5,009,833 號描述以一專家系統規則為基礎的最佳化方式。很像"決策樹"技術，以"專家系統"規則為基礎的技術只像提供給系統的那些規則一樣好。結果，雖然這些技術能夠識別整體反應器問題和後來必需的人類回應，他們的應用時常是不實際的，且不包括一運作中核子反應器的連續運作最佳化之應用。

在另一範例中，1998年8月4日頒發給 R.O. Jackson 等人的美國專利第 5,790,616 號，描述對一核子反應器的控制葉片位置執行最佳化的一種早期嘗試。在這個範例中，最佳化使用一以遺傳學為基礎的演算法依一單一時間順序執行。一旦決定了在一特定時間順序的較佳連桿模型，安置那些連桿且研究接著的時間步驟。藉由假定週期的連桿模型之"最佳"設定是在核心中提供最低軸頂點的連桿模型，將一啟發式的假設整合到系統之內。雖然這個啟發式的假設使 Jackson 等人的系統能夠最佳化全部自變數(大約 6-12)的一子集，此假設排除依真實最佳解決的獲得。而且，在許多 BWR 反應器上，在週期開始(BOC)時極端硬的底部可能導致在週期結束(EOC)時的情況—熱極限過高且需要反應器降低電力位準以維持安全運作。結果，Jackson 等人揭露

的系統，既未提供最佳的也未提供可能可使用的解決。

為了更充分地處理上述問題，有一非常有效率的電腦系統安排，能夠執行一全面的核子反應器工廠運作最佳化程序，能識別導致改良的燃料週期效率、較好的整體反應器經濟、和提高的操作彈性所需的操作控制-變數的大部分(如果不是全部)適當改變/修改，將會是最令人期待的。

發明概述

在一態樣中，本發明是一種系統和方法，用以識別集體地與一核子反應器核心的運作和控制有關之一或多個操作控制-變數的最可能量化數值，和用以決定核心之一或多個燃料供給週期之一最佳的操作策略。在另一態樣中，本發明是一種系統和方法，用以在多重燃料供給週期期間的反應器運作中，連續地更新和維護一核子反應器的最佳操作策略。在這個態樣中，一旦識別出一組較佳的最佳化限制，在整個複數次燃料週期期間，系統藉由有效地連續提供更新的反應器運作參數(最佳化的控制-變數)，實施反應器運作的持續最佳化。更新的反應器運作參數可直接地實施在控制反應器上，導致運作的更有彈性、更經濟、和更安全的方式。

在本發明的一範例具體實施例中，用以在一核子反應器的運作中最佳化多重操作控制-變數的一系統和方法，包含一網路連接型電腦系統，其包括一或多個主處理器或電腦，程式規劃成執行一最佳化程序，最佳化程序識別一反應器工廠許多操作控制-變數中的一或多個及/或實施改

變，以便改良反應器燃料週期效率、整體反應器經濟，和提高操作的彈性。在一進一步態樣中，本發明含有一電腦網路系統，有透過對網際網路的連接增進之通信，以便分散處理負荷和從各種位置幫助最佳化程序的存取和控制。

在範例具體實施例中，操作控制-變數的最佳化和更新可能選擇性地在人工控制之下進行，以輸入特定的最佳化限制和反應器狀態-點資訊，或可能根據儲存在網路上的一預先決定之使用者定義的策略，透過最佳化程序的重複執行自主地進行。使用一圖形輸入和顯示使用者-介面(GUI)，反應器設計專家/工程師可選擇性地輸入和檢討各種自變數選擇、與它們所產生的依變數(dependent variable)回應，或在追求其它可能設計策略時改變各種最佳化限制和控制。如透過下列描述將變得顯而易見的，一旦識別出一組較佳的最佳化限制，本發明也可用來實施對反應器控制之自動重複的調整，以在一或多個反應器燃料週期中，有效地提供反應器運作的連續最佳化。

圖式概述

圖 1A 是說明一範例反應器控制-變數最佳化系統的方塊圖；

圖 1B 是一流程圖，說明依照本發明一核子反應器的多重操作控制-變數的最佳化之二基本操作處理迴路和範例系統的一般資料處理概觀；

圖 2 是一方塊圖，說明本發明儲存在一般資料庫儲存裝置上的資訊和參數型態的可仿效群組；

(8)

圖 3 是說明一些範例操作策略改變議題的方塊圖；

圖 4 是一流程圖，說明依照本發明用來通信反應器狀態點的改變之通知、和自動地重新-最佳化一初始策略的意圖之一範例程序；

圖 5 是一方塊圖，說明儲存在本發明的一最佳化輸入資料庫中的可仿效資訊；

圖 6A 是一流程圖，說明由依照本發明最佳化程序所執行的範例軟體處理步驟的一般概觀；

圖 6B 是一流程圖，說明依照本發明一範例軟體最佳化引擎的處理步驟，用以執行最佳化計算以決定控制-變數的較佳數值；和

圖 7 是一方塊圖，說明儲存在本發明的一最佳化輸出資料庫中之可仿效資訊。

發明詳述

以下說明針對本發明的一目前較佳具體實施例，可能實施為一遠端使用者應用程式，舉例來說在英代爾 (Intel) Pentium 硬體上微軟公司 (Microsoft) 視窗 2000 作業系統下執行，有通信的 WEB、資料庫結構的 Oracle、和資料庫作業系統的 UNIX。然而，本發明不限制於任何特定電腦系統或任何特定環境。相反的，熟知該項技藝人士將發現本發明的系統和方法可有利地適用於需要多重控制-變數重大程序或系統的連續最佳化之任何環境，包括工業、化學、機械、核子、和生化科技。而且，本發明可使用各種電腦操作系統平台具體實施，包括 UNIX、LINUX、Mac OS、Open

VMS、Solaris、SCO UNIX、Digital UNIX、HP UNIX、AIX、OSF、DOS、OS/2、BSD、Plan-9等。同樣地，本發明可使用各種不同硬體環境實施，包括X86、Power PC、Strongarm、Alpha、Sparc、RISC、Cray等。因此，在此處所提供本發明的範例具體實施例之特定描述是為了說明而非作為限制。

本發明的系統之一範例具體實施例利用獨立處理器的一個網路，以同時地引導在不同情況和限制下一反應器核心操作的多重摹擬。每一摹擬是一不同虛擬操作情形的代表，且包含各種反應器核心操作參數的不同數值之組合(也就是，那些獨立控制-變數)。反應器核心摹擬提供指示所選擇的執行參數之輸出資料，其反映一反應器核心整個燃料週期期間反應器的操作狀態。一旦完成了所有反應器核心摹擬，對每一種控制-變數情形的摹擬輸出資料由一主處理器累積、標準化、和映射到對應的高階多項式。高階多項式對每一種控制-變數情形套入反應器核心摹擬結果資料。獨特地描述每一多項式的係數在一相關的記憶體裝置中收集為一多維資料陣列，當成一種類型的虛擬"回應表面"。

這樣，虛擬回應表面扮演用以儲存來自許多控制-變數情形摹擬的合成輸出資料之一電腦工作空間和倉庫。然後那些多項式用來在獨立控制-變數數值的有限範圍上預測那些反應器執行參數的量化數值(也就是，依變數)。使用一目的函數比較來自每一多項式預測者的預測執行參數數值，以決定哪一特定相關獨立控制-變數(s)有可能產生

最好的改良。然後執行使用所識別的數值之另一核心摹擬，以提供多項式預測者的校正，和以摹擬程序校準回應表面中的多項式係數資料。

在上述通用最佳化程序完成時，與不同反應器運作有關的自變數之最佳化的參數數值(舉例來說，連桿模型、核心流量、和順序交換時間)可能經由，例如區域網路/廣域網路、網際網路、或其他網路設施，數位地通信，以在各種位置使用和顯示。舉例來說，可能利用連接到網際網路的一允許執行網頁瀏覽器的電腦當成一輸出顯示裝置/終端機，且也可能扮演最佳化系統處理器其中之一，以及反應器核心摹擬機器(核心模擬器)其中之一。經由這種分散式計算和顯示安排，在各種位置的系統使用者可檢視較佳的自變數選擇和產生的依變數回應、及/或改變各種最佳化限制和控制，以研究和實施其它可能的操作策略。

在本發明一種態樣中，由一最佳化程序主處理器、和一個或多個網路連接型反應器核心模擬器所產生的數千操作控制-變數的量化數值，儲存在一網路可存取的儲存裝置中，以維護過去的和計畫的反應器運作資訊兩者的資料庫。然後一反應器設計專家可研究這樣的資訊，以決定構成反應器的可允許和安全運作的實際範圍和限制。然後識別出那些操作控制-變數的可允許範圍的一集成，並儲存在一般資料庫中當成一特定反應器的一較佳操作策略。雖然，一特定操作策略可能對一特定反應器的一整個燃料週期期間維持為較佳策略，本發明也讓設計專家/工程師能夠

在萬一發生需要時對所儲存的策略進行運轉中的修改。

舉例來說，操作策略改變可能由於想要一更經濟有效率的反應器執行、國家研究會議(NRC)發證需求的改變、或設計模擬器的不良預測而發生。一旦識別出一種設計策略，提供運作建議的一最佳化程序控制變數選擇。在最佳化程序已經完成執行之後，所預測的反應器執行資料儲存在系統網路的一部份之可存取的一般資料庫中。最佳化輸出結果包括操作控制-變數的建議數值、產生之計畫的依變數數值，計算要限制數值和其相似物之計畫的數值之比較，並選擇性可使用的將之做成一輸出。

一旦一組初始策略定義已經儲存在一可存取的資料庫中，本發明也可以以一種規則的或持續的方式用來預定週期性的重新-最佳化。這樣自動地執行的重新-最佳化允許在預期的模擬器偏差間之差異經常地重新-校正到真實的模擬器結果。根據最新的反應器狀態-點所時常執行的這種重新-最佳化，造成將來運作的更正確計劃。自動的重新-最佳化之持續期間只受用來執行最佳化計算的個別主處理器之速度、和一般資料庫以目前反應器操作資料更新的速率所限制。

圖 1A 展示用以提供一反應器-控制-變數最佳化系統的元件之範例硬體安排。在這個範例中，一或多個主處理器 10 經由一區域網路(區域網路)11、一廣域網路(WAN)17、或網際網路(TCP/IP 網路)連接。每一處理器 10 可能主控反應器模擬軟體及/或用戶端軟體，以在連接到處理器的一顯示

裝置(12)上，存取和顯示經由一圖形使用者介面(GUI)提供的資訊。那些最佳化系統元件可能包括，舉例來說，經由一或多個資料庫伺服器13存取的一或多個資料庫儲存裝置14。除此之外，最佳化系統可能包括位於遠端的主處理器，及/或經由對一遠端區域網路/廣域網路17或在網際網路上，舉例來說，經由TCP/IP伺服器15和16的連接與地方性的區域網路11通信的資料庫儲存裝置。

本發明一種有利的態樣來自從計算環境中最佳化計算實際上執行的位置解開圖形使用者介面(GUI)的系統配置之實施。舉例來說，在本發明一範例具體實施例中，一TCP/IP網路、區域網路、廣域網路、或數位通信基礎結構的這些和其他組合，可用來連接具有一圖形使用者介面的一電腦、或終端機到執行最佳化程序計算的一或多個資料庫儲存裝置和處理器/伺服器。

現在參照圖1B，一資料處理流程圖說明依照本發明用以連續最佳化一核子反應器的多重操作控制-變數之一範例系統。顯示的流程圖提供一範例系統的一般處理概觀，並說明二種基本的操作處理模態：一人工輸入限制定義程序(手動迴路10)和一自動化的最佳化更新程序(自動化迴路100)。經由手動程序，來自一一般資料庫101的更新結果可藉由使用，例如由一圖形使用者介面(GUI)所驅動的，傳統顯示裝置(12)檢視(102)。一般資料庫101可能由位於一單一儲存裝置上的一中央資料庫(如圖形所示)組成，或者它可能是位於分散在整個最佳化系統網路各處的多重儲

存裝置上的一分散式資料庫。萬一使用者(舉例來說，一設計工程師)想要修改或測試一其他可能操作策略(103)，如此的修改也可透過GUI啟始和輸入(104)。在此處雖然描述了GUI的各種特徵，可能適於與本發明的最佳化系統一起使用之GUI驅動的軟體和其他傳統GUI特徵的細節，可輕易地由一般技術的程式設計者發展出來而不用過度的實驗，而因此不在此處詳細討論。

一旦修改了選擇的最佳化輸入，各種輸入被儲存，舉例來說在最佳化輸入資料庫106當中，其可能與一般資料庫101不同，或形成一般資料庫101的一部分。接著，使用儲存在最佳化輸入資料庫106中的適當輸入，一最佳化程式107決定獨立控制-變數的適當數值，並提供產生的數值給所有的依變數。這個最佳化輸出108儲存到一般資料庫101供如上面所述的後續存取和檢視。操作控制變數的最佳化數值(舉例來說，連桿模型、流量策略、順序交換時間、順序長度等)提供為可顯示的輸出，以使用在核子反應器核心的操作管理。

如先前所提，本發明的一種態樣提供對控制-變數的自動更新，且根據一預先定義的較佳操作策略自動地更新一現在操作中反應器的狀態。要實現本發明的這種自動化態樣，首先從一一般資料庫101(迴路100)獲得一更新的核子反應器狀態-點。更新的狀態-點資料可，舉例來說，從反應器上的真實監控裝置和感應器產生，或由於提供在經由圖1A中的網路11、17、或18連接的一或多個主處理器10上

之一傳統的反應器模擬器程序或程式之模擬反應器運作產生的結果。然後更新的反應器狀態-點資訊用來根據在人工輸入迴路程序(10)期間建立的一操作策略，對儲存在最佳化輸入資料庫106中的各種最佳化輸入參數進行修改。

現在參照圖2，一方塊圖說明對本發明使用的一般(中央)資料庫(201)之一些範例資訊(內容)。在這個範例中，一般資料庫201中的資訊可使用，舉例來說，經由系統的數位通信網路互相連接的一或多個大量資料儲存裝置儲存，或者它可完全地存在於一單一集中的儲存裝置上。在這個範例具體實施例中，一般資料庫也包括至少四個基本類型的資料項目：1)使用者側寫資料204；2)程序電腦資料205；3)離線模型資料206；和4)最佳化資料207。使用者側寫資料204，舉例來說，使系統能夠控制每一使用者對各種資訊的存取，而防止對某些預先決定的限制資料之存取。因為一集中的一般資料庫可能包括複數個不同公司所擁有的大批核子反應器之資訊，對此種資料的控制存取可能，舉例來說，藉由要求一存取的密碼、或藉由一些其他傳統安全存取安排實施。舉例來說，安全性可藉由要求使用者IP位址的識別、且只允許特定的使用者和特定機器存取權限提高。其他側寫資料資訊可能包括，舉例來說，最佳化執行狀態的累積使用者效率測定。如此的資訊可提供特定使用者的洞察力往額外的使用者訓練需求接近，且也可用來監控所敘述的使用者和反應器之最佳化數值。

儲存在一般資料庫201中的第二類型資料是程序電腦資

料 205。這個程序電腦資料是操作參數的真實反應器工廠監控之結果，例如：LHGR結果、CPR結果、週期露出、棒叢露出、核心平均露出、葉片消耗、核心入口焓、葉片位置、核心流量速率、LPRM資料、熱反應偏差、冷反應偏差、火力發電、電功率等。如此的資料大大地與個別反應器工廠裝置使用相關，而因此，視為是一特定核子反應器的"正式"運作狀態。

有些類似程序電腦資料 205 的是目前和歷史的"離線"模型資料 206。這個資料，雖然不完全相同，類似於程序電腦資料 205。雖然設計輸入可能完全相同，由於各種反應器模擬器偏差和其他不確定性，反應器效率輸出可能出現不同。而且，不同的反應器模擬器可能已經使用在產生程序電腦資料和離線模型資料。如此的不同反應器模擬器可能藉由使用實質上不同的計算方法實施反應器運作的摹擬。結果，來自這些反應器模擬器的輸出(即使提供了完全相同的輸入資訊)時常會造成實質上不同的反應器輸出資料。因為最佳化執行從離線的模擬器模型開始，在程序電腦資料 205 和離線模型資料 206 之間差異的結合用來提供校正，以適應不同摹擬模型之間的差異。使用不同類型資料之間的此種審慎校正，能夠使將來運作的最佳化預測更正確和有用。

儲存一般資料庫 201 上的第三種類型之資料是最佳化資料 207。這種類型的資料包括使用作為最佳化輸入規格、策略定義輸入、和最佳化輸出結果的目前和歷史資訊兩者

。(最佳化輸入和最佳化輸出在以下參照圖 5、圖 6A、圖 6B、和圖 7 更詳細討論)。資料庫 201 可由一使用者透過 GUI 203 手動地、或在自動化處理 202 期間由系統自動地存取及/或更新。

圖 3 提供當決定是否應該實施操作策略的改變或實施一新的操作策略時，例如一工程師/操作員有可能考慮的典型操作策略議題的一範例清單 (304)。舉例來說，在經由圖形使用者介面 (102) 檢視來自程序電腦資料的核心效率、來自一摹擬模型的核心效率、及/或計畫的將來最佳化之最佳化輸入和輸出之後，一工程師/操作員可能想要使用 GUI (104) 對預先定義的操作輸入策略定義實施改變 (103)。GUI 也可能提供一選擇選單列表，以編輯或選擇預先決定的策略側寫及/或最佳化輸入，來影響操作策略和同等限制的改變。影響參數的預定數值之策略改變可能，舉例來說，經由 GUI 104 實施。立刻列在以下的是為什麼可能想要實施一或多個策略限制改變的一些範例原因：

- 要增加反應器全部-電力週期長度；
- 如果熱限度或反應界限限度需要，要提供額外的反應器界限；
- 要從反應器核心模擬器/摹擬執行所產生的錯誤預測恢復；
- 要在反應器參數控制-變數之間執行靈敏度研究；
- 要恢復流量視窗修改期間的能量；
- 要適應更長或更短的控制葉片順序長度的希望；

- 要減少由於放射性材料的一洩漏棒叢之衝擊；
- 要將來自一洩漏燃料棒叢的放射性材料釋出減到最少；
- 要增進反應器參數健全；
- 要改變控制葉片組選擇；
- 要從來自於許可修改的設計之改變恢復；
- 要執行替代的葉片管理；
- 要在接著的週期中儲存額外的反應，以改良長期週期經濟效率；和
- 要提高整體操作彈性。

圖4說明一範例程序的流程圖，用以計算和通信一預先定義的操作策略之最佳化輸入的自動化修改，作為一運作中反應器工廠的最後狀態-點之改變的結果。決定了一新的更新狀態-點且，使用來自一般資料庫401的資料，執行一比較402以決定最近更新的狀態-點是否與從一先前執行的摹擬所獲得之狀態-點不同。如果最近的狀態-點沒有改變(403)，繼續狀態-點比較402。如果狀態-點已改變(404)，新的狀態-點之一份副本複製到最佳化輸入資料庫409。除此之外，對操作策略(405)進行一小的改變，以反映起始露出的改變。藉由策略起始點更新和反映新的起始點時間所進行的小修改，設定(406)一最佳化請求旗標以識別一最佳化請求的系統。由於本發明的這個態樣是自動化的且不需要人類介入，自動化實施的通知經由電子郵件408提供到一預先決定的所敘述收件者分類407。

圖5是一方塊圖，說明由於更新計算的反應器狀態-點資

訊 (501) 或手動輸入修改的結果之一最佳化輸入資料庫 (503) 的範例內容。如上面所描述，最佳化輸入資料庫修改可能從自動化程序迴路運作 501、或經由圖形使用者介面 502 從手動程序迴路運作開始。舉例來說，最佳化輸入可能包括，但不限制於資料和參數例如：狀態-點位置、狀態-點檔案名稱、模擬器模型、可允許要最佳化的自變數、最佳化控制、要仿效的較佳週期露出、可允許的葉片運動範圍、起始消耗範例、設計限制、限制加權、許可限制、目標熱反應偏差、目標冷反應偏差、自變數的搜尋寬度、回應表面寬度、和最佳化請求旗標。這些最佳化輸入的每一者儲存在最佳化輸入資料庫 503 中，以在最佳化程序執行 504 時使用。

圖 6A 說明在一或多個主處理器 (10) 上運作以執行本發明的控制-變數最佳化程序的最佳化軟體所執行的範例步驟。當最佳化輸入最初放在最佳化輸入資料庫中時，設定了一最佳化請求旗標。在一最佳化程序執行期間，只有在測試了 (602) 請求旗標以決定是否已經對最佳化輸入進行了任何改變之後，才從資料庫 (601) 取得最佳化輸入的數值。如果未曾對最佳化輸入進行改變 (也就是，未設定請求旗標)，程序回復到目前手動或自動迴路 (圖 1B) 的起始入口點。如果已經做了改變，從資料庫 (601) 取得那些新數值，且一最佳化計算程序等候在一主處理器 (603) 上執行。一旦完成了 (604) 最佳化程序計算，結果儲存到一般資料庫 (605)。

圖 6B 說明一範例最佳化程序計算引擎的流程圖。一開

始，如方塊 612 所指示，從最佳化輸入資料庫 611 取得最近的摹擬狀態-點 (501) 資訊和使用者的最佳化限制 (505)。接著，在方塊 613，對每一自變數開始二種反應器模擬器情形的處理，以便決定依變數對一所敘述的自變數之改變的函數關係。接著，在方塊 614，藉由解出多項式的係數決定一多項式回應表面的產生。(回應表面轉換函數對中心-點標準化以延長最佳化階段期間的有用性)。由於可能有數百個那樣多的自變數，且對每一自變數可能有數十萬個依變數，上述處理可能潛在地導致產生數百萬計的多項式回應表面轉換函數。

一旦產生了轉換函數多項式回應表面，它可用來對一自變數 615 的數值之一特定改變 "預測" 依變數的回應。結果，對每一自變數的計算模擬之數值改變提供可對每一自變數進行之最佳修改的一估計 (也就是，量化數值的改變)。當如此的預測指示存在與一先前的疊代有關之改良時，使用一反應器核心運作模擬器模擬情況；模擬器可能是，舉例來說，由連接到網路的一或多個其他主處理器所執行的一傳統核心摹擬程式或程序。重複計算多項式回應表面預測 (615) 和執行模擬器校正/更正的遞迴 (619) 直到以下任一情形：1) 回應表面變成不正確，2) 達到一預定數目的疊代，或 3) 直到發現對計算的解答沒有進一步重大改良。一旦退出了迴路 619，自變數選擇的範圍減少 (616)，而經由處理 "迴路" 620 再產生了一新的回應表面。持續追求此更大的回應表面計算迴路 (620)，直到對一自變數的改變不再改

良計算的解答達到一預定的程度，預定的程度可透過最佳化使用者-輸入限制敘述。一旦完成了最佳化，計算的最佳化輸出數值(617)儲存在一最佳化輸出結果資料庫(618)中，其可能是一般(中央)資料庫的一部份。

圖7是一方塊圖，說明儲存在提供於系統網路中一儲存裝置上的一最佳化輸出資料庫702中之資訊的範例內容。舉例說明了最佳化資料庫內容的三種主要類別，包括：1)最佳化狀態資料704，2)最佳化獨立控制-變數705，和3)產生的最佳化依變數輸出預測706。最佳化狀態資料704可能包括，但不限制於，對設計數值的比較結果，週期長度改良，最佳化結果，最佳化路徑，最佳化狀態，和策略比較。最佳化獨立控制-變數705可能包括，舉例來說，較好的控制葉片之位置和在所有未來請求的露出之相等葉片配列，在所有未來請求的露出之較好的核心平均流量，和較好的順序交換露出間隔。最佳化依變數輸出預測706，可能包括(但不限制於)，舉例來說，LHGR結果，CPR結果，週期露出，棒叢露出，核心平均露出，葉片消耗，核心入口焓，LPRM資料，熱反應偏差，冷反應偏差，火力發電，和電功率。

如上面所描述的本發明之系統和方法可藉由提供使能量最大、而週期最長的操作控制-變數之建議的規格，而同時提供執行安全和有彈性運作所需的相同或更大的設計界限，大大地改良運作中核子反應器的經濟效率。本發明的其他實際使用可能包括，但不限制於：

- 根據連續地更新的反應器狀態-點連續的最佳化；
- 根據運作中工廠歷史最佳化；
- 根據對改變操作需求的回應最佳化；
- 連續的維護最佳的計劃；
- 操作界限到能量或週期長度的轉換；
- 能量或週期長度到操作界限的轉換；
- 從欠佳的三維模擬預測恢復；
- 計劃的自動更新以使用在下一週期設計和許可中；
- 在目前週期中的能量儲存以供接著的週期燃料週期效率改良；
- 反應器操作員對最佳運作建議的回饋；
- 反應器操作員對所有自變數的靈敏度之回饋；
- 使用露出及/或位置相關限制接收和最佳化操作控制-變數的能力；
- 對集中資料庫的遠端存取；
- 對廠商硬體的客戶存取；
- 由客戶使用者對客戶特定資料的安全存取；
- 從變動的限制執行多重解決的能力；
- 決定界限的經濟成本；
- 延長反應器週期長度；
- 改良反應器極限界限；
- 恢復由於反應器流量特性而損失的能量；
- 減少必需的順序交換之數目的能力；
- 增加一特定順序交換間隔的長度；

- 回應緊急狀況例如泵損失、漏洩控制、原子爐緊急關閉恢復等的能力；
- 回應一核子工廠的許可需求之改變的能力；和
- 比較各種最佳化策略。

在此處所提出且在上面描述的發明之方法，可使用具有足夠處理速度和相關資料儲存容量的大多數任何類型之電腦網路或互相連接之處理器的系統實現，且不必然地要限制在任何特定類型的資料處理器或網路。而且，本發明的軟體元件可以如一或多個模組一樣運作，且可彙集在一電腦-可讀的媒體上以易於在一網路連接型環境中的一或多個主處理器/電腦上傳送及/或安裝。除此之外，在此處提出的方法和系統可適用於最佳化許多不同類型的反應器工廠之運作，包括但不限制在沸水反應器(BWRs)和加壓水反應器(PWRs)。

雖然本發明已與目前視為是最實際和較佳的具體實施例相關地描述，應該了解本發明不限制在所揭露的具體實施例，相反地，打算涵蓋包含在所附的申請專利範圍之精神和範疇中的各種修改和等效安排。

圖式代表符號說明

10	最佳化系統主處理器/反應器模擬器
11	區域網路(LAN)
12	顯示裝置
13	資料庫伺服器
14	資料庫儲存裝置

(23)

- 15 遠端主處理器/模擬器的TCP/IP伺服器
- 16 TCP/IP網際網路伺服器
- 17 遠端區域網路/廣域網路
- 100 自動化迴路
- 101 控制(一般)資料庫
- 102 輸出顯示圖形使用者介面
- 103 操作策略實施
- 104 輸入顯示圖形使用者介面
- 106 最佳化輸入資料庫
- 108 最佳化輸出資料庫
- 201 中央(一般)資料庫
- 202 反應器狀態-點計算
- 203 輸出顯示圖形使用者介面
- 204 使用者側寫資料
- 205 程序電腦資料(目前和歷史的)
- 206 離線模型資料
- 302 同等的限制
- (304) 範例策略改變議題清單
- 401 中央(一般)資料庫
- 402 狀態-點比較
- (403) 狀態-點改變
- (404) 複製新的狀態-點
- 405 修改操作策略
- 407 識別電子郵件收件者

(24)

- 408 通知電子郵件收件者
- 501 更新計算的反應器狀態-點
- 502 圖形使用者介面
- 503 最佳化輸入資料庫
- 504 最佳化程序執行
- 601 最佳化輸入資料庫
- 602 檢查最佳化旗標設定
- (603) 佇列最佳化程序執行
- 604 執行最佳化程序
- 605 儲存最佳化輸出結果
- 611 最佳化輸入資料庫
- 612 結合使用者-輸入限制
- 613 執行摹擬情形
- 614 產生多項式回應表面
- 615 預測最佳的自變數
- 616 減少範圍
- 617 計算的最佳化輸出數值
- 618 最佳化輸出資料庫
- 619 處理迴路
- 620 較大的處理迴路
- 703 最佳化輸出
- 704 最佳化狀態資料
- 705 最佳化的獨立控制-變數
- 706 最佳化的依變數輸出預測

肆、中文發明摘要

本發明揭示一種系統(圖 1A)和方法(圖 1B)，用於在一核子反應器的複數個燃料週期之運作期間，對多重操作控制-變數之最佳化的持續更新。一網路連接型電腦系統(11)，包括規劃來執行一最佳化程序(圖 6B)的一或多個主機(10)，以識別、並改變導致改良的效率和操作彈性之操作控制-變數的定量數值。操作控制-變數的最佳化和更新，可在人工控制之下選擇性地進行，以輸入特定的最佳化限制和反應器狀態-點資訊；或可根據儲存在網路上的一預定之使用者定義的策略，透過最佳化程序的重複執行自主地進行。在使用者和網路連接型處理器間之通信是透過使用連接到網際網路(18)的一傳輸控制協定/網際網路協定

伍、英文發明摘要

A system (Fig. 1A) and method (Fig. 1B) is provided for a continual updating of the optimization of multiple operational control-variables during the operation of a nuclear reactor over a plurality of fuel cycles. A networked computer system (11) includes one or more hosts (10) programmed to execute an optimization process (Fig. 6B) to identify and make changes in quantitative values of operational control-variables that result in improved efficiency and operational flexibility. Optimization and updating of operational control-variables may proceed selectively under manual control for inputting specific optimization constraints and reactor state-point information or may proceed autonomously through a repetitive performing of the optimization process based upon a predetermined user-defined strategy stored on the network. Communications between users and networked processors is facilitated by use of a TCP/IP server (16) connected to the Internet (18) so that portions of the optimization process may be conducted contemporaneously at remote locations (15) and/or the results made accessible to users via conventional browser enabled computers.

肆、中文發明摘要

(TCP/IP)伺服器(16)促成的，以便可在遠端位置(15)同時地管理最佳化程序的一部分，及/或讓使用者可經由傳統的能夠執行瀏覽器之電腦存取結果。

伍、英文發明摘要

陸、(一)、本案指定代表圖為：第_____圖

(二)、本代表圖之元件代表符號簡單說明：

柒、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

5

拾、申請專利範圍

1. 一種用以根據儲存在一資料庫(101)中的一或多個最佳化輸入參數(106)及/或反應器狀態-點資訊，決定和更新一計畫的策略以維持一核子反應器的最佳運作之方法，包含由一電腦或電腦網路所執行的步驟：
 - a)接收用來初始化或修改一或多個最佳化輸入參數數值的輸入資料(106)，其集體地定義一特定反應器操作策略；
 - b)根據目前的反應器工廠狀態-點資料計算複數個反應器核心操作控制-變數的最佳化定量數值(107)，其中所計算出的最佳化量化數值符合反應器的預先決定之設計限制；和
 - c)在連接到該電腦或電腦網路的一顯示裝置上顯示(108)該等計算出的最佳化量化控制-變數數值中之至少一或多個數值，該資訊係最佳反應器效率之一計畫策略的指示。
2. 如申請專利範圍第1項之方法，進一步包括根據步驟(b)中所計算的最佳化定量數值計算最佳的反應器摹擬結果之步驟。
3. 如申請專利範圍第1項之方法，其中計算複數個反應器核心操作控制-變數的最佳化定量數值之步驟，進一步包含根據複數個反應器核心運作摹擬計算多項式回應表面資料。
4. 如申請專利範圍第1項之方法，其中計算複數個反應器

- 核心操作控制-變數的最佳化定量數值之步驟，進一步包含使用預先決定的多項式回應表面資料來預測獨立控制-變數數值的最佳改變，該多項式回應表面資料以複數個反應器核心運作摹擬為基礎。
5. 如申請專利範圍第1項之方法，進一步包括依照目前的時間及/或在一目前燃料週期中剩餘的時間，週期性地計算一或多個最佳化輸入的更新數值之步驟。
 6. 如申請專利範圍第1項之方法，其中步驟(a)的最佳化輸入資料包含預先決定的所儲存之最佳化輸入參數數值，其集體地定義一較佳的操作策略。
 7. 如申請專利範圍第6項之方法，其中一儲存的反應器操作策略結合反應器工廠許可需求。
 8. 如申請專利範圍第1項之方法，其中步驟(a)的最佳化輸入資料是從最佳化輸入資料的一資料庫自動地取回的。
 9. 如申請專利範圍第1項之方法，其中步驟(a)的最佳化輸入資料是由一使用者手動地輸入的。
 10. 如申請專利範圍第1項之方法，進一步包括選擇性地顯示歷史及/或目前反應器工廠效率資料的步驟。
 11. 如申請專利範圍第1項之方法，其中最佳化控制-變數的計算在對一現存或較佳反應器操作策略進行改變之後執行。
 12. 如申請專利範圍第1項之方法，進一步包括轉換熱及/或反應界限資料成為燃料週期能量資料的步驟。

13. 如申請專利範圍第1項之方法，進一步包括轉換反應器燃料週期能量資料成為熱及/或反應界限資料，以經由圖形使用者介面供後續顯示的步驟。
14. 如申請專利範圍第1項之方法，其中計算一或多個反應器核心操作控制-變數的最佳化量化數值，在貧乏的或不完備的程序電腦及/或設計模擬器預測之後執行。
15. 如申請專利範圍第1項之方法，其中計算一或多個反應器核心操作控制-變數的最佳化量化數值在一特定燃料週期N期間對一反應器執行，以便改良一後續燃料週期N+1的反應器運作之效率。
16. 如申請專利範圍第1項之方法，其中執行了計算一或多個反應器核心操作控制-變數的最佳化定量數值之步驟，及/或直接在經由圖形使用者介面輸入一或多個特定命令之後，顯示一最佳之計畫的反應器操作策略。
17. 如申請專利範圍第1項之方法，其中計算最佳化量化數值的步驟包括經由圖形使用者介面顯示所有的獨立控制變數。
18. 如申請專利範圍第1項之方法，其中計算最佳化量化數值的步驟包括利用露出相關限制。
19. 如申請專利範圍第1項之方法，其中計算最佳化量化數值的步驟包括從變動的限制標準提供多重解決。
20. 如申請專利範圍第1項之方法，其中計算最佳化量化數值的步驟，包括根據一使用者選擇的延長反應器燃料週期期間數值執行計算。

21. 如申請專利範圍第1項之方法，進一步包括計算對應於一特定減少的冷卻劑流量能力之一最大燃料週期能量的步驟。
22. 如申請專利範圍第1項之方法，進一步包括執行一慣性降轉(coastdown)減少計算的步驟。
23. 如申請專利範圍第1項之方法，進一步包括計算一最大未擾亂的順序長度之步驟。
24. 一種核子反應器運作最佳化系統，用以根據儲存在一資料庫中的一或多個最佳化輸入參數及/或反應器狀態-點資訊，決定和更新一核子反應器工廠的最佳運作之一或多個策略，包含：

經由一數位通信網路(11)連接的複數個最佳化系統主處理器(10)，該等主處理器中之至少一或多個作為一控制-變數最佳化引擎運作，且該等主處理器中之至少一或多個提供一圖形使用者介面，以選擇最佳化輸入和輸入相關的參數數值、及/或根據最佳化引擎所提供的最佳化輸出結果顯示一最佳化操作策略的資訊指示；和

可由該等主處理器中之一或多個經由通信網路存取的一資料庫儲存裝置(14)，供儲存最佳化輸入和參數數值。

25. 如申請專利範圍第24項之反應器運作最佳化系統，其中該等主處理器中之至少一或多個處理對應於獨立控制-變數數值的一預先決定集合之一或多個種反應器核心運作摹擬情形。

26. 如申請專利範圍第24項之反應器運作最佳化系統，其中反應器狀態-點資訊由連接到網路的一或多個處理器所執行的一反應器摹擬程序產生，且儲存在可經由通信網路存取的一資料庫中。
27. 如申請專利範圍第24項之系統，其中通信網路包含一區域網路。
28. 如申請專利範圍第24項之系統，其中通信網路包含一廣域網路。
29. 如申請專利範圍第24項之系統，其中通信網路至少包含，部份現存的網際網路通信基礎結構。
30. 如申請專利範圍第24項之系統，其中顯示裝置包括一圖形使用者介面，能夠擷取和選擇性顯示儲存在可經由通信網路存取的一或多個儲存裝置上的歷史及/或目前反應器工廠效率資料。

拾壹、圖式

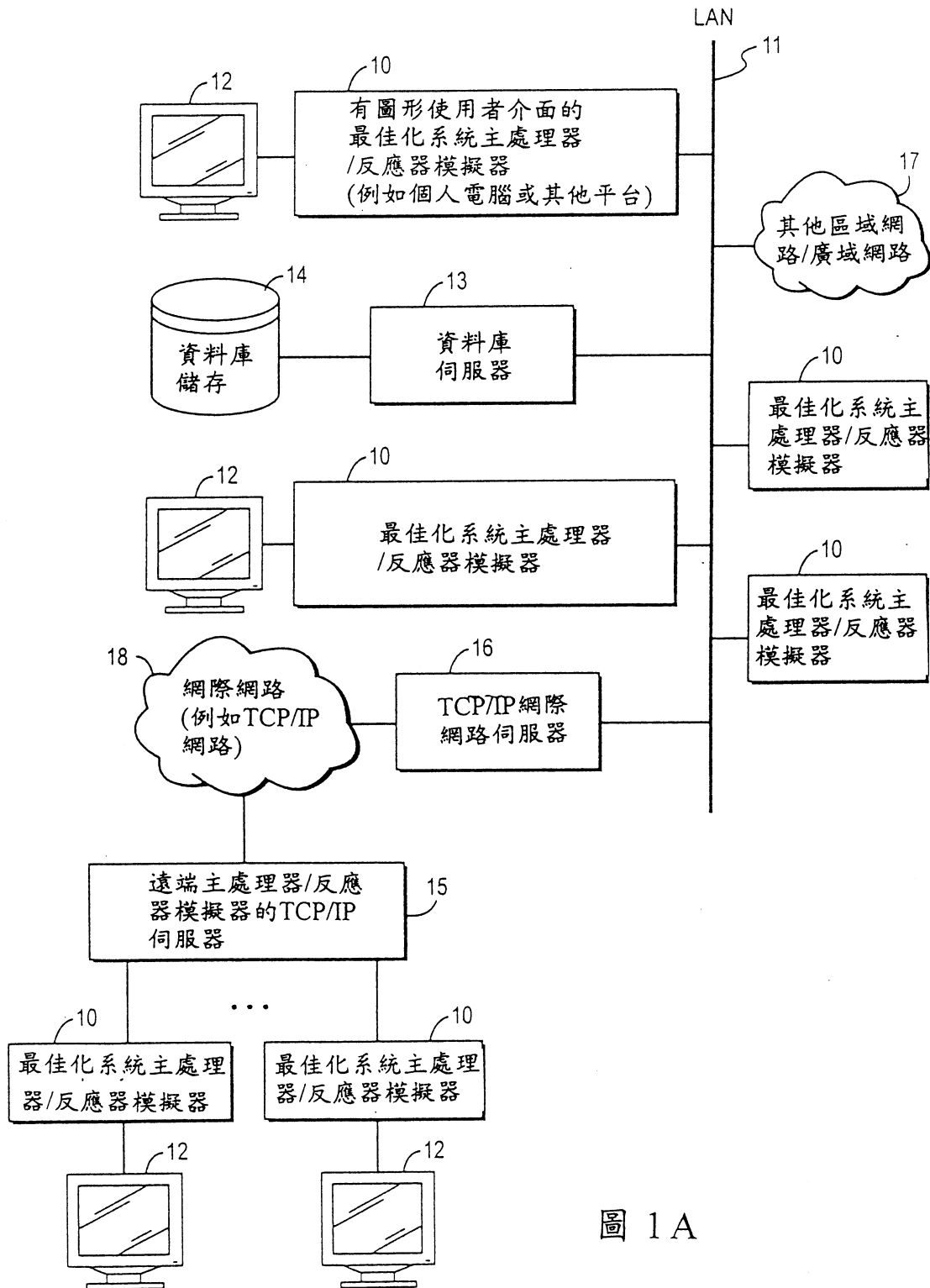


圖 1A

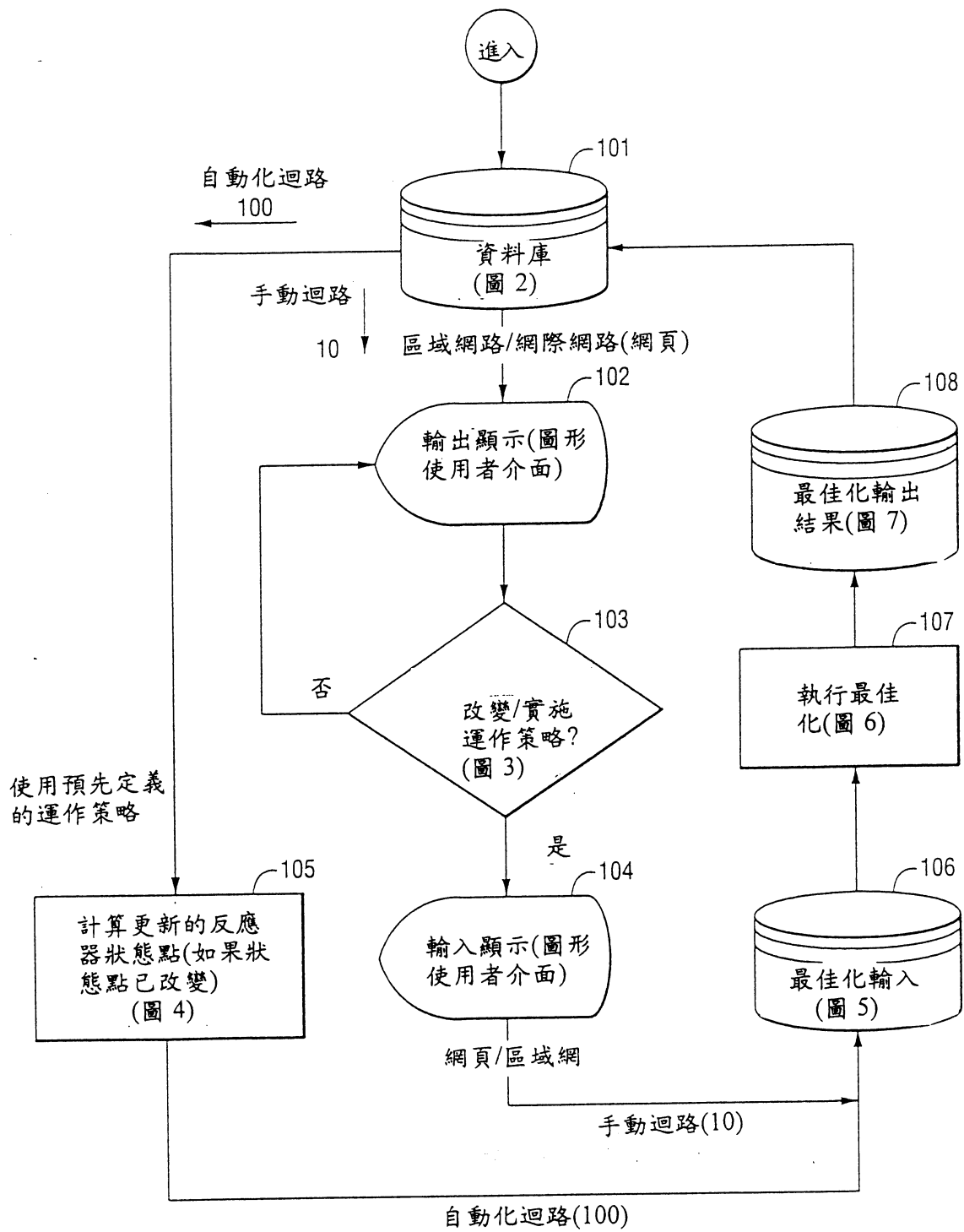


圖 1B

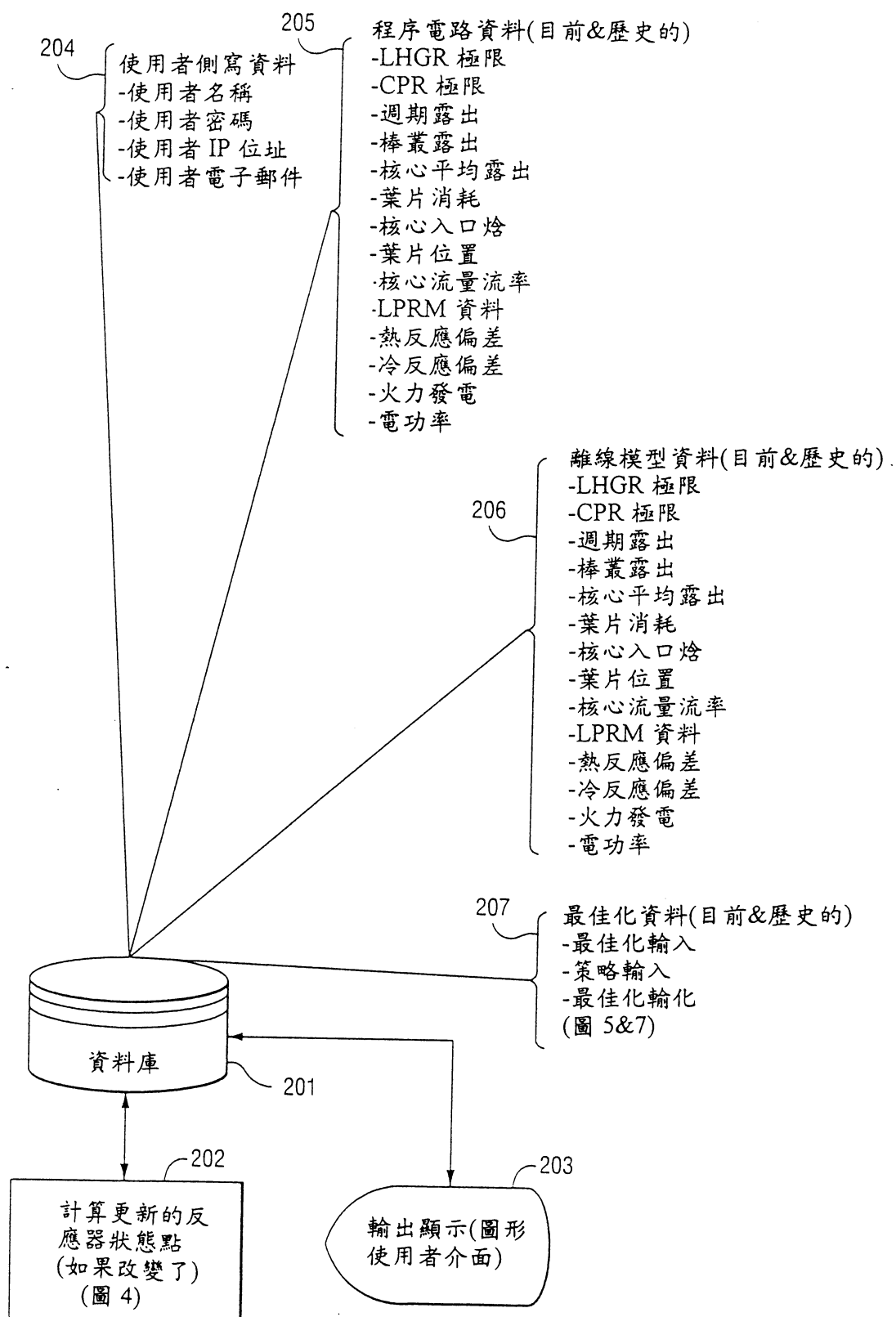


圖 2

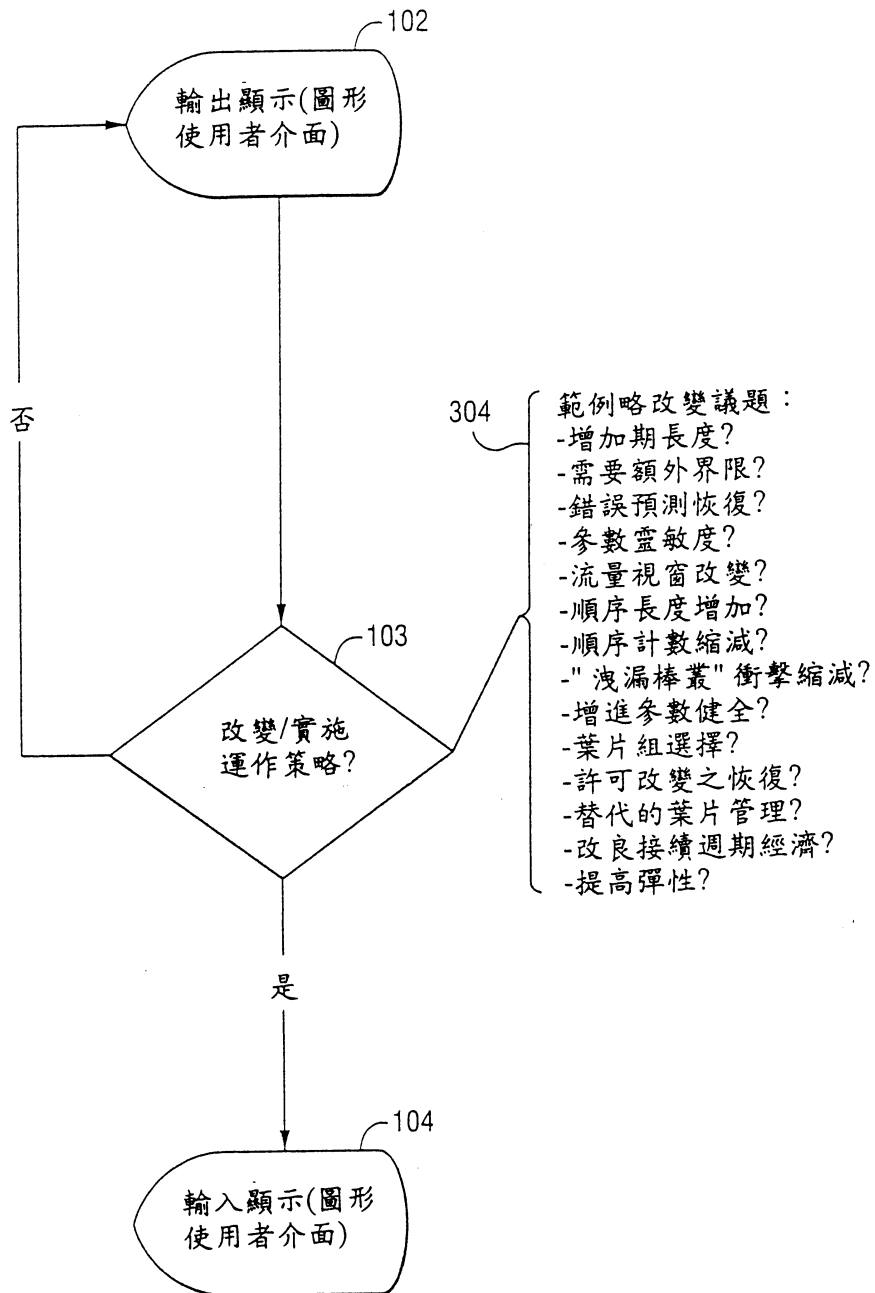


圖 3

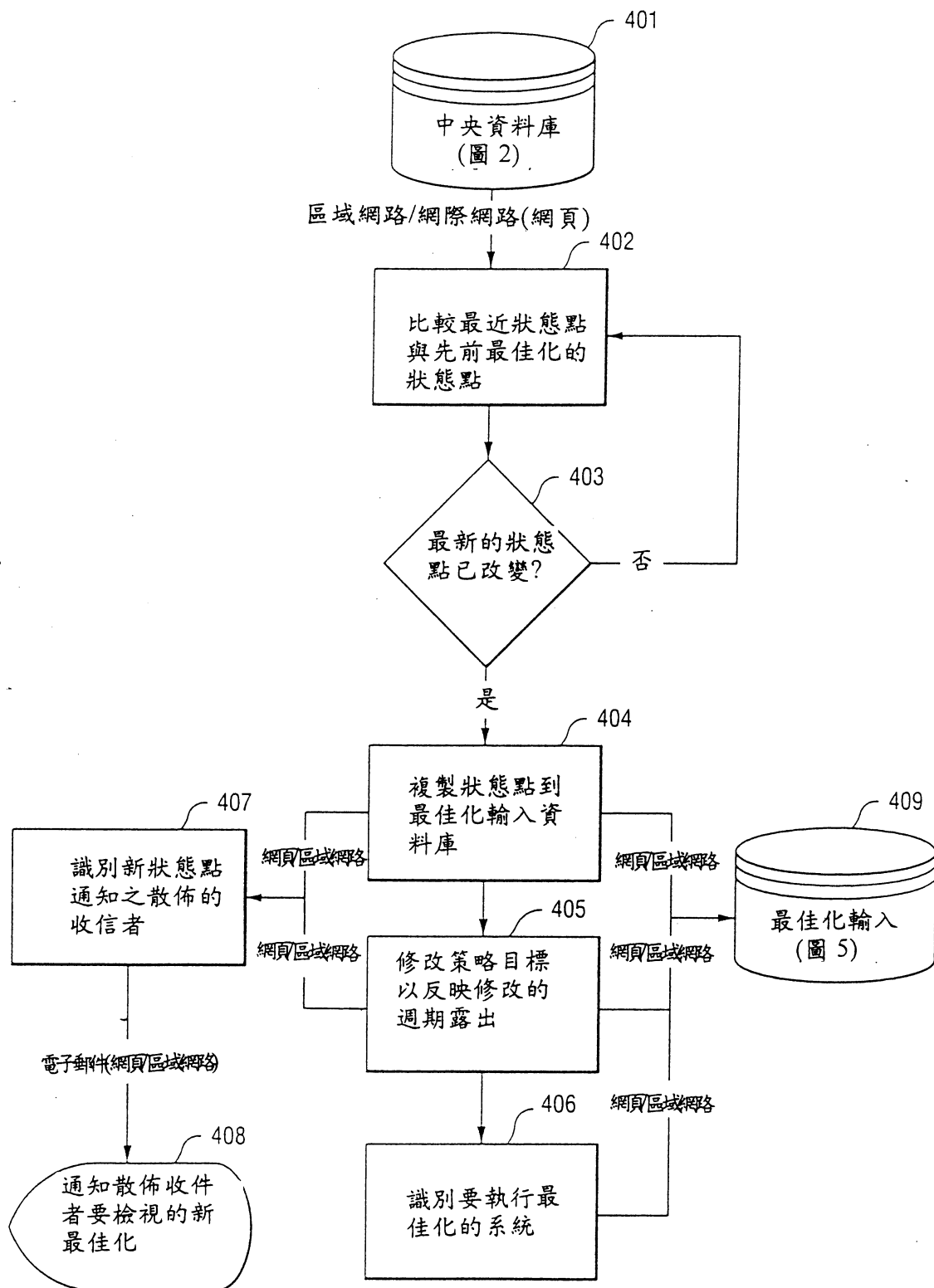


圖 4

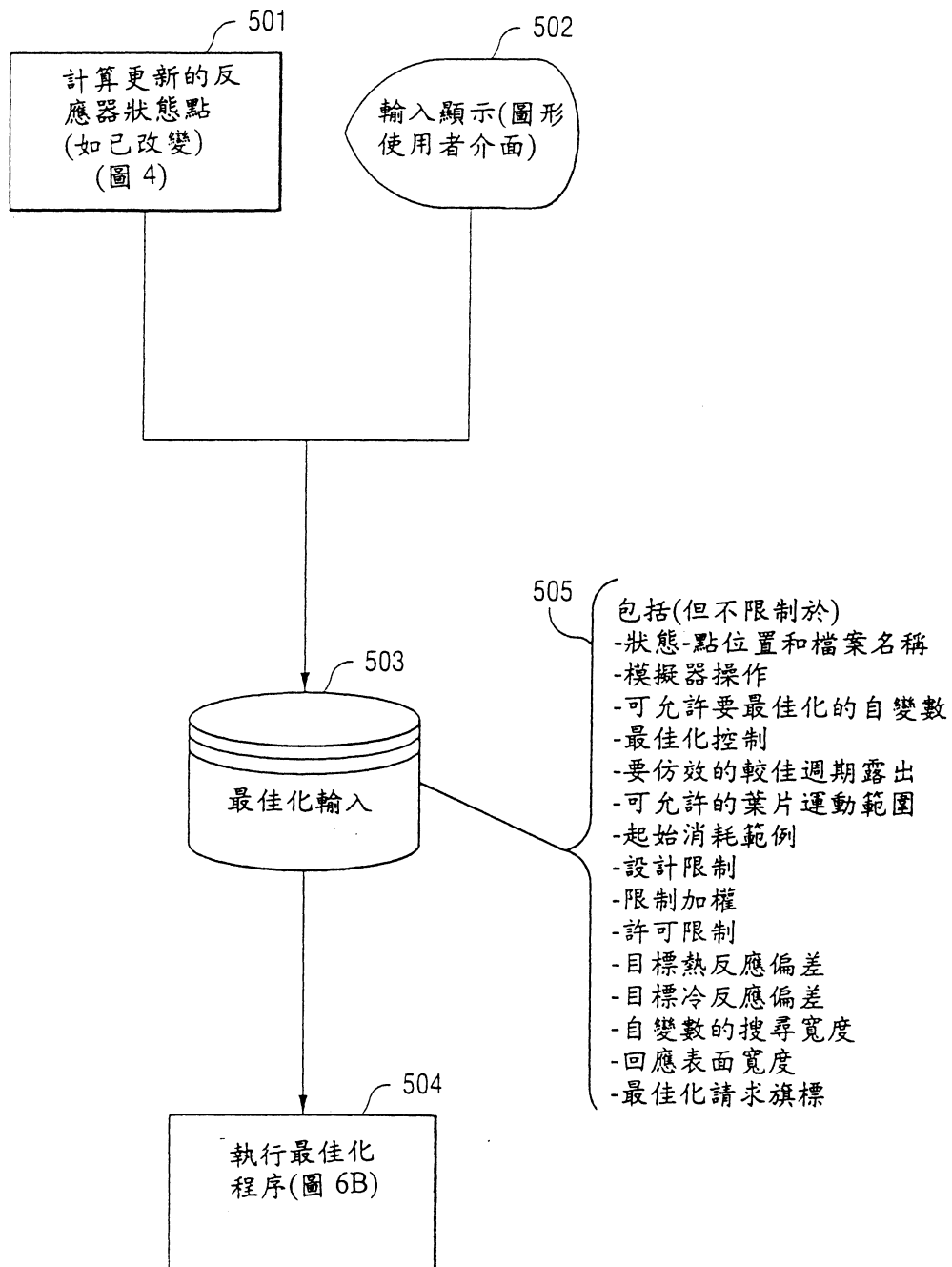


圖 5

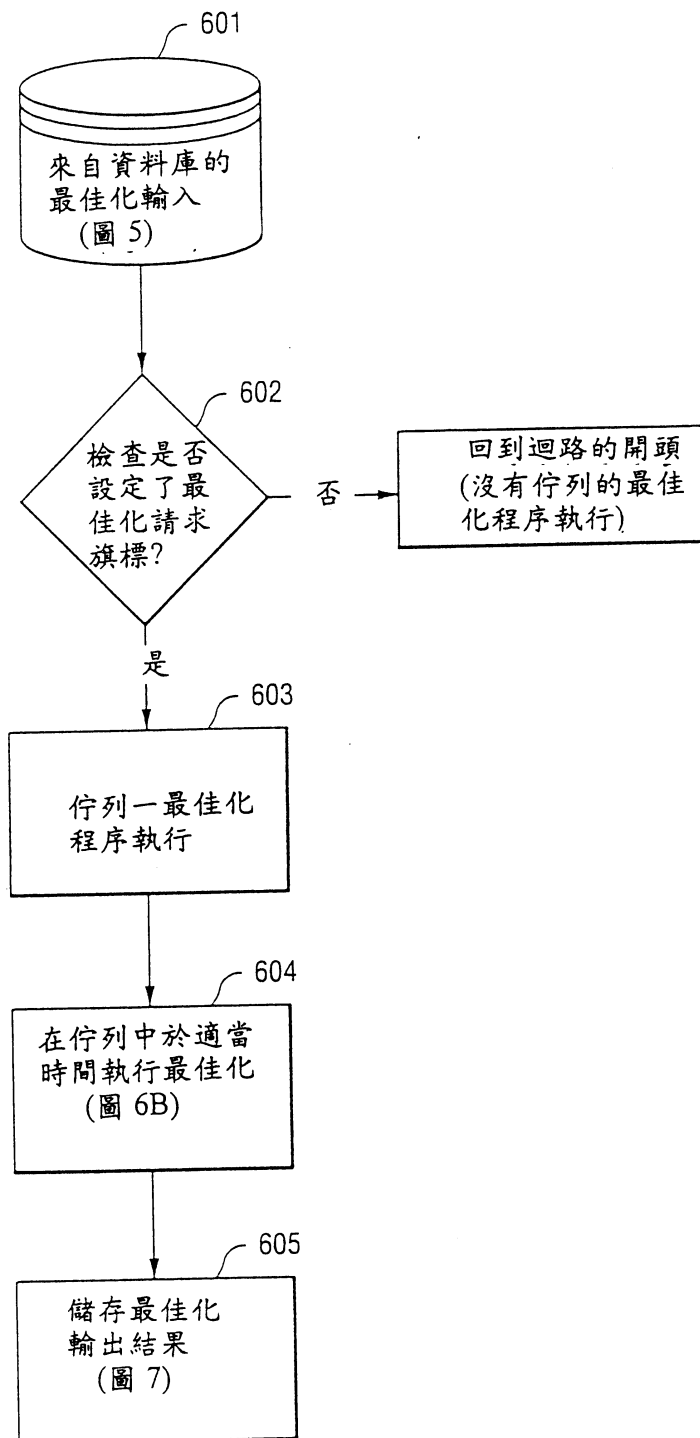


圖 6A

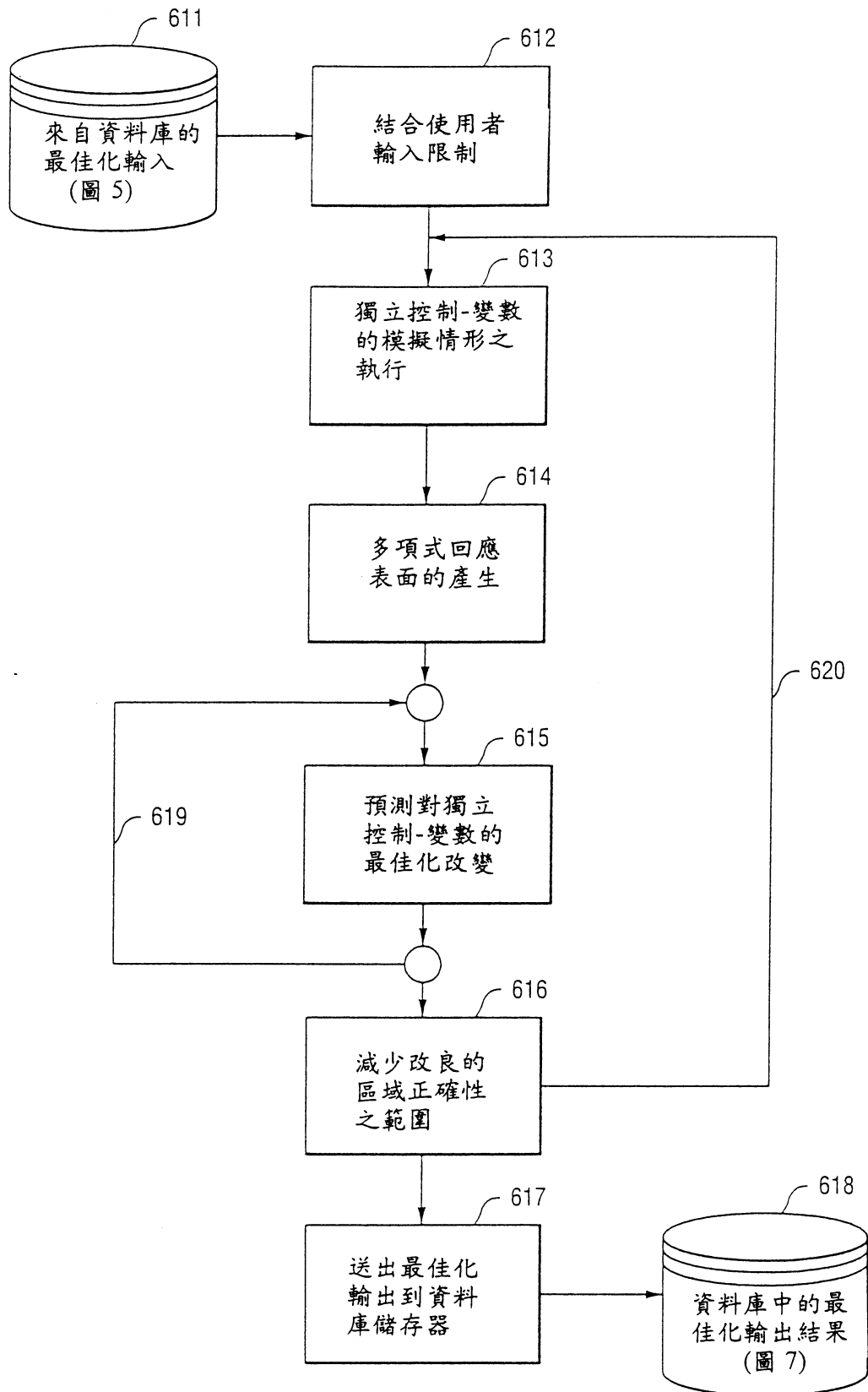


圖 6B

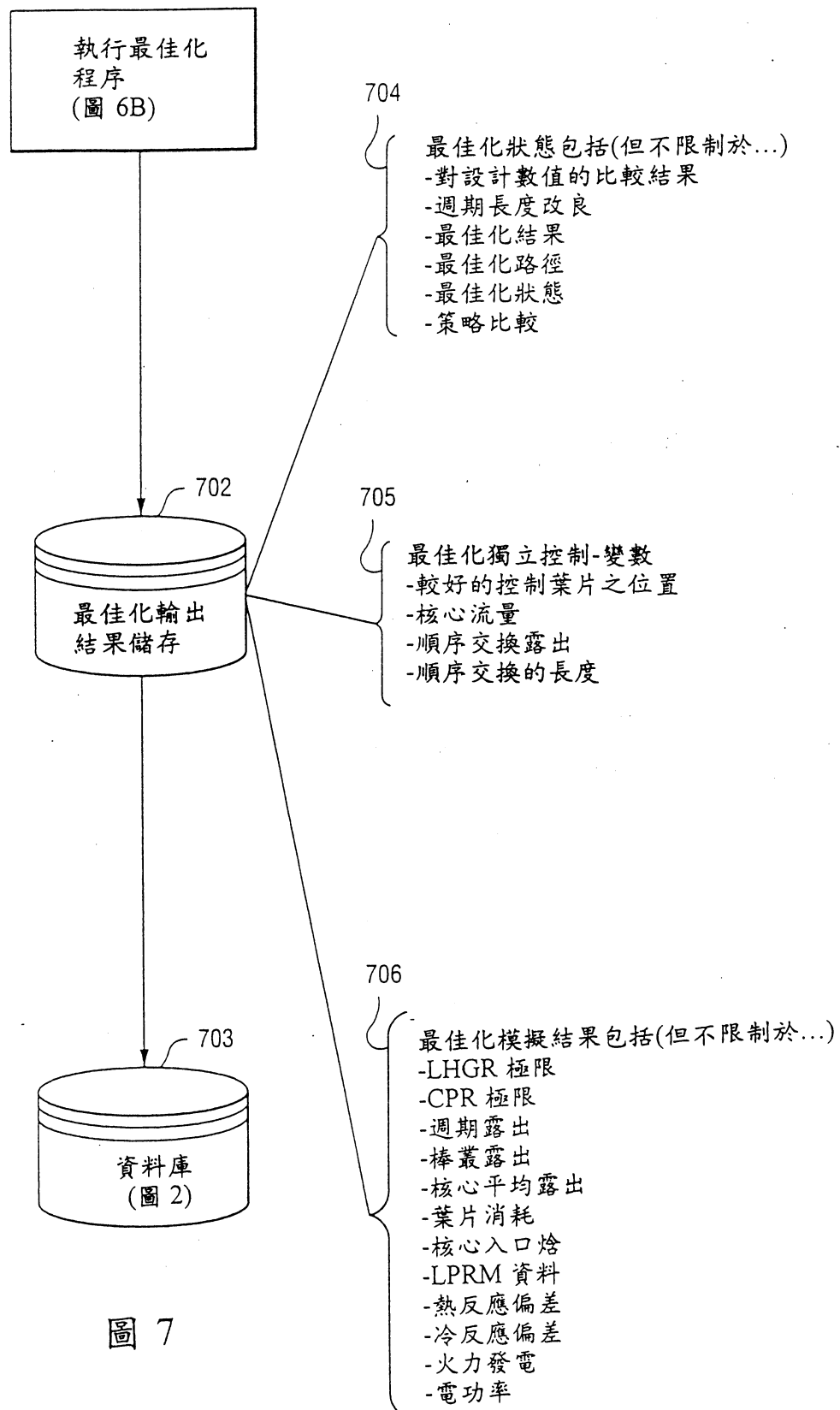


圖 7