

本文為下列論文之中譯: Sheu, D. Daniel and Mike Hou, “TRIZ-based Systematic Device Trimming Method: Theory and Applications”, the International Journal of Systematic Innovation, Vol 2, No.1, pp 2-21(2012).

萃智系統化元件削剪手法及設備再設計創新

許棟樑*, 侯俊亭

dsheu@ie.nthu.edu.tw; sheu.daniel@gmail.com

*台灣國立清華大學工業工程與工程管理學系

國科會計畫補助: 98WFA0400829

摘要

本研究發展一套系統化元件削剪之演繹法以及案例應用, 此手法基於萃智的問題解題理論, 是一種用刪除實體元件方式來解決問題, 卻不會造成任何功能損失的方法, 並加以用於利用更少的元件及更低的成本, 再設計並解決製程設備之問題。修剪的過程是由修剪規畫表所形成, 其包含多個修剪任務, 而每一修剪任務包含功能提供者、有用功能、功能接受者、修剪規則、新的功能提供者、修剪問題描述以及修剪方法, 並提出以深度優先且遞迴的雙迴圈修剪流程, 使修剪效果最大化。本研究應用此方法幫助一間台灣主要半導體公司, 解決化學氣相層積設備的閘閥失效問題, 透過所建議之問題解決流程, 成功的辨識出核心關鍵不利點加以解決並產生突破性的結果, 此結果透過多數個萃智解答工具所產生, 本文僅描述利用削剪工具所提出之解答。本研究主要貢獻包括: 1) 建立與萃智問題解決模型一致之削剪的理論及流程, 並能突破性的解決問題及節省成本; 2) 解決閘閥問題, 幫助其減少 83.3% 的元件數量、95% 的元件成本與 99% 的運作能源, 並且完整地設計排除掉原有失效模式, 而改善之結果已成為一正在進行審查的專利。

關鍵詞: 萃智、削剪、系統性創新。

一、緒論 (Introduction)

一般工程師面臨工程技術問題多用「添加」或「更換」的方式來解決問題, 例如: 電子元件之間產生無線電波的干擾, 多數工程師通常都是利用框蓋來阻隔無線電波的干擾; 當河水暴漲時, 土木工程師則是建立大壩以保護土地免於洪水肆虐; 這些都是利用添加的方式來解決問題。而部分的人會利用更換的方式, 去更換出問題的元件以解決問題。據估計有 99% 的人都是傾向利用添加或更換的方式解決問題。本研究建立一套與萃智問題解決模型一致的基礎理論以及利用「削減」方式的解題手法。(Altshuller, 1998, 1999)

二、削剪理論 (Theory of Trimming)

2.1 系統層級定義 (Definition of System Levels)

在削剪的流程中, 可以方便的區分超系統、系統與子系統, 根據百科全書, 其將系統定義為由一組互相作用、互相關聯或互相依賴的元件所構成的複雜結構 (Web dictionary, 2012)。在修剪方法當中, 系統屬於當前運作層別的範圍, 子系統為系統內的任何元件, 超系統廣義上指的是一個更大的系統, 其包含當前系統, 以及其他與當前系統有互相作用的外部元素, 狹義上指的是除主系統外的外部元件。

2.2 削剪的定義 (Definition of Trimming)

作者將削剪定義為藉由移除系統元件增加系統理想性的方法，根據 Genrich Altshuller (Mann, 2007)，系統的理想性定義為感知利益/(成本+害處)，此衡量方法用於定義改善之處，當在系統上識別出改善之處，其理想性會提升，當系統功能表現的比另一系統相似功能來的好，其理想性高於另一系統。

而削剪就是在增加或維持系統的理想性，並不鼓勵單純削剪元件以及減少理想性，且亦不再本研究所討論的範圍內，多數應用修剪方法之案例仍然可以維持或提升系統原有的功能性，部分應用修剪方法之案例利用減少功能性來提升理想性，為預防功能性下降，可以透過減少系統相關的大量成本或害處，與下降之功能性相抵消。

2.3 削剪的類別 (Classification of Trimming)

針對削剪的類別有幾種分類方法，根據削剪元件的種類，削剪可以分為元件削剪(Device Trimming)、流程削剪(Process Trimming)以及組織的削剪(Organizational Trimming)。元件削剪是指削剪實體物品的元件，以達到系統理想性的提升，流程削剪是指削剪流程系統的作業活動，以增加系統的理想性，組織的削剪是指削剪組織內部的子組織，以增加系統的理想性，而本研究專注在元件削剪的探討。

基於開始削剪的系統層級所在，分為在系統層級的削剪及在超系統層級的削剪，在系統層級的削剪是指一開始從目標系統的調查及系統已被削剪的元件進行削剪，在超系統層級的削剪是指將系統及其超系統的元件結合形成一虛擬系統，並以此虛擬系統進行削剪，產生新的系統，且此新系統相對於虛擬系統有著較少的元件及相同或更多的功能。而本研究僅著墨於在系統層級的削剪，在超系統層級的削剪將於未來研究呈現。

2.4 削剪的用法 (Usage of Trimming)

削剪提供達到企業目標的簡潔方式如下：

- 欲修正問題或移除害處，不是削剪造成問題的元件就是受害的元件；
- 欲減少產品成本，則削剪昂貴的元件；
- 欲減少作業活動且維持成本，需刪除高耗能或密集維修的元件；
- 欲降低生產或營運的複雜性，需減少元件數量及複雜元件；
- 減少錯誤失效的發生機會，因為零件越多發生錯誤失效的機會越高；
- 為迴避專利，則可削剪專利獨立項中的元件；
- 為建立利基市場或產品差異化，移除或簡化相關元件中不需要的特徵；
- 透過刪除帶有負面影響的元件以改善產品的性能。

本研究所提出之系統性方法，能夠實現上述的任何目標，並透過削剪與系統再設計，針對實際案例進行解題。

2.5 削剪專業用語 (Trimming Terminology)

本節重新定義傳統萃智的功能用語，及定義一些新的削剪專業用語，以利後續章節削剪流程的描述。

2.5.1 工具 (Tool) ，功能 (Function) 和目標物 (Object)



圖 1: 功能元件示意圖

當一個元件 C1 對另一個元件 C2 有產生作用(Action)時，如果元件 C2 之屬性(或稱參數)因為作用，而產生改變或維持，則元件 C1 對元件 C2 提供功能(Function)。此處產生作用即變為功能。元件 C1 稱為工具(Tool)或功能提供者(Function Carrier)，接受功能之元件 C2 稱為功能之目標物(Object of the Function)簡稱目標物(Object)。

2.5.2 削剪任務 (Trimming Task)

削剪元件的流程可以分解為多數個削剪任務(Trimming task)來執行。前述之工具-功能-目標物(Tool-Function-Object)為一體，即是每一個削剪任務所要處理的目標，而每個削剪任務執行的目的，即是削剪此對象中的功能或使他變得不再需要。當一個工具的所有有用功能都被削剪或變成不需要時，此工具就沒有用處，也就可以進行削剪。在削剪過程中並不需削剪有害功能，因該工具被削剪時，其有害功能自然就會被削剪。

2.5.3 削剪規則 (Trimming Rules)

削剪規則為削剪工具-功能-目標物的功能模式，以做為修剪的原則，共發展六項削剪規則(Verduyn, 2006; Weaver, 2009; Ikovenko, 2009)並整理說明如下：

● 削剪規則 A (Trimming Rule A)：

如圖 2，如果功能接受者可被刪除，表示功能提供者所提供的功能已無需要，因此可以削剪功能提供者。此規則於削剪規則中非常強而有力，因為其可以一次削剪兩元件。

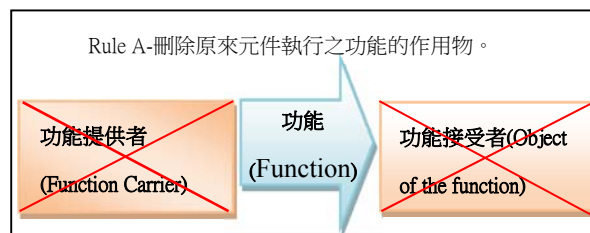


圖 2 削剪規則 A (Trimming rule A)

● 削剪規則 X (Trimming Rule X)：

削剪規則 X 內容如圖 3 所示，若功能提供者所提供之功能可以刪除或是不需要，則功能提供者可以刪除，而規則 X 為非常有力的方式於刪除現有功能，因此可能涉及到完全不同的運作原理。

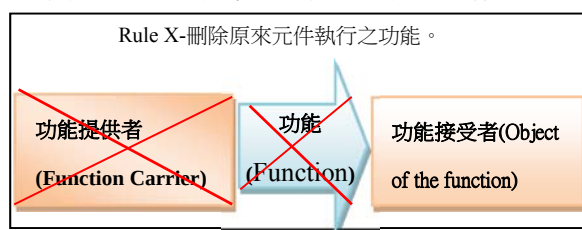


圖 3 削剪規則 X (Trimming rule X)

● 削剪規則 B (Trimming Rule B)：

如圖 4 所示，為了削剪功能提供者，則讓功能接受者可以自行執行功能提供者所提供之功能。也就是讓功能接受者自我服務，因此不需要其他元件。

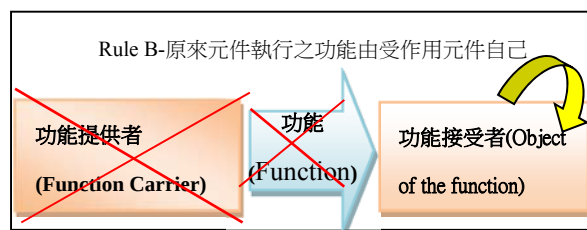


圖 4 削剪規則 B (Trimming rule B)

● 削剪規則 C (Trimming Rule C)：

如圖 5 所示，在系統內或系統外，找一個已經存在之元件，使他執行所需要的功能，則原有功能提供者將可以被刪除。此規則需要系統或環境現有的另一個元件來執行有用功能。

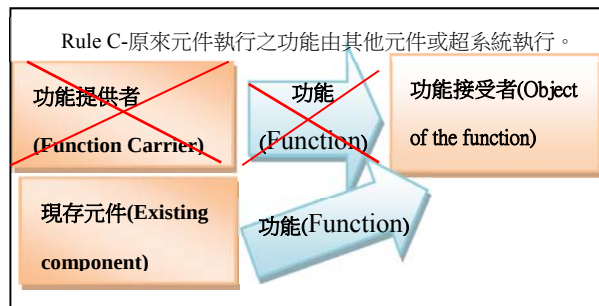


圖 5 削剪規則 C (Trimming rule C)

● **削剪規則 D (Trimming Rule D):**

如圖 6 所示，此規則為刪除原有的功能提供者，則直接刪除該元件，但需要找到一個利基市場，使削剪後的系統有其用途，雖然整體功能有可能因此而升級，但因為成本及害處降得更多，使得整體的理想性(Ideality)在此利基市場上是提升的。

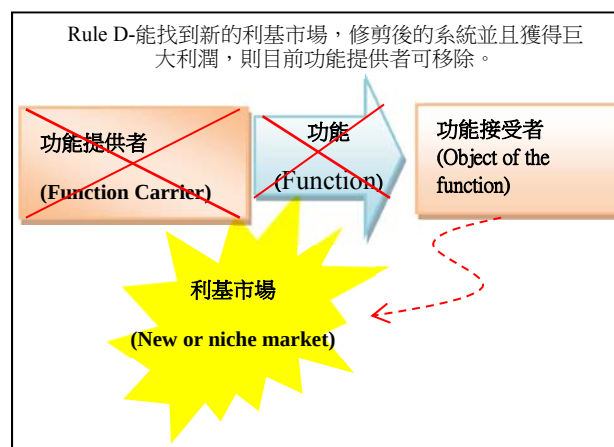


圖 6 削剪規則 D (Trimming rule D)

● **削剪規則 E (Trimming Rule E):**

如此規則有幾個特點：(1)替代元件非已經存在系統或其環境，(2)替代元件帶來功能效益的提升或是降低成本及害處，而提升系統理想性，嚴格來說，此規則非削剪元件，而是找一元件替代，但依然有其益處，所以作者認為可以作為有效的削剪工具之一。

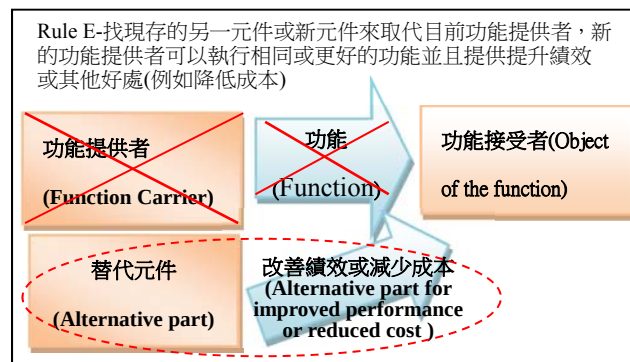


圖 7 所示，找另一個原來不存在的元件取代原來功能提供者，且替代元件可以提升系統績效或有其他效益。此規則有幾個特點：(1)替代元件非已經存在系統或其環境，(2)替代元件帶來功能效益的提升或是降低成本及害處，而提升系統理想性，嚴格來說，此規則非削剪元件，而是找一元件替代，但依然有其益處，所以作者認為可以作為有效的削剪工具之一。

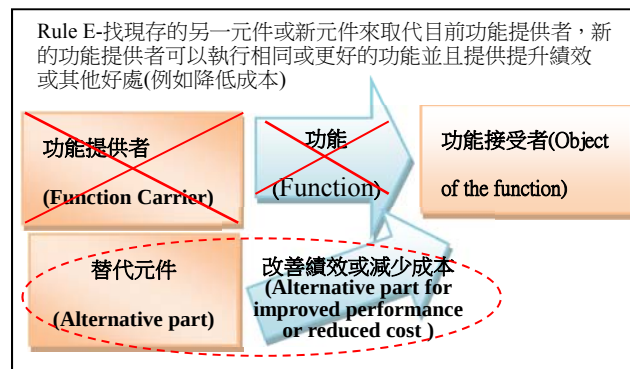


圖 7 削剪規則 E (Trimming rule E)

削剪規則的優先序：削剪規則依其效力有別，一般建議之削剪依序為規則 A、X、B、C、D、E，而有時規則 E 之效力會大於規則 D 或是規則 B 之效力大於規則 X，且一旦優先序越前的規則，已成功進行削剪，則其他規則將可以忽略，也就是只要有任一規則成功削剪，即表示削剪成功。

2.5.4 削剪規畫 (Trimming plan)

參照表 1，削剪規畫 (Trimming plan) 就是以一個表格引導使用者井然有序地、正確地列出所有的削剪任務。即協助使用者列出全部關於目前功能提供者的有用功能，然後依照規畫之順序逐一執行這些削剪任務的內容。其名詞解釋如表 2 所示。

表 1 削剪規畫表 (Trimming plan table)

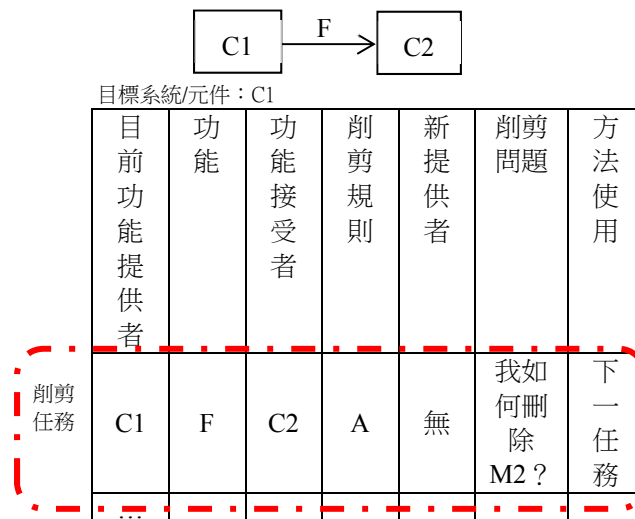


表 2 削剪名詞解釋 (Trimming terminology)

專有名詞	內容說明	角色
目前提供者	欲被刪除的目前功能提供者	削剪的目標
功能	欲被刪除的目前功能	削剪任務的目標
目標物	功能作用的對象	功能接受者
新提供者	帶有原功能的新功能提供者	使目前功能提供者可以移除
削剪任務	為削剪流程的細部工作項目。每一任務代表裁減一個功能，用哪一種裁剪規則。每一任務皆依當前的削剪模式對當前的(工具-功能-受件)進行功能削剪	削剪流程的個別工作項目
削剪規則	目前任務要進行削剪的	提供削剪功能的原

	模式	則
削剪規畫	提供步驟化的表單，引導使用者以系統性思維，完整的進行削剪	完整削剪過程的排序，並記錄、展開思維過程
削剪問題/描述	用刺激性、挑戰性的問句，引導使用者思考削剪任務的問題描述	讓使用者聚焦思考削剪任務的關鍵問題
削剪方法	此處方法是指用來處理目前削剪任務的方式或結果，並不管任務是否成功削剪	總結當前裁剪任務如何處理和結果
削剪模型	為削剪後系統之功能模型，為目前削剪問題的解答模型，即觸發解。	提供解答抽象的形式，使我們依此推論可行之特定解
特定解	削剪問題最終具體化之特定概念解	作為解果之解答將可被執行

削剪問題/描述：是指透過具挑戰性的問題陳述，幫助使用者專注在解決削剪任務的關鍵問題，削剪問題陳述的形式如下：

- 使用規則 A 時，可以問：我如何削剪 C2？(其中 C2 為此功能之目標物)
- 使用規則 X 時，可以問：我如何讓此 F 功能不再被需要？(其中 F 為當前要削剪的功能)
- 使用規則 B 時，可以問：我如何讓目標物 C2 自己執行此 F 功能？
- 使用規則 C 時，可以問：現有系統或週邊環境中有沒有已存在的元件可以執行此 F 功能？
- 使用規則 D 時，可以問：若直接刪去提供功能的元件，是否有一利基市場，可以有利地使用此降級系統。
- 使用規則 E 時，可以問：是否有另一個元件，可以替代目前提供功能的元件，同時幫助我提升系統績效或降低成本/害處。

削剪方法：在此部分，用以註明目前這一個削剪任務 是用何種方法達成，若目前的削剪任務無法達成，將被指示下一個削剪任務，並描述目前削剪任務的結果。

整理之削剪所有相關專有名詞如表 2。

2.6 元件削剪流程的模式 (The Proposed Model of Device Trimming Processes)

一般萃智問題解決流程如圖 8 所示(Sheu, 2007, 2011)，流程的轉化可以於圖中看見，由左下角待解決之特定問題開始，運用萃智所提供之問題分析工具進行問題的分析，將具體的特定問題轉化成抽象的層級，即問題模型，由於分析特定問題之方法有很多，因此會產生多個問題模型，而每一個問題模型，都可以透過下列兩種問題解決途徑來解決：(1)類似的問題具有相似的屬性，因此將有類似的解答(此為類似問題有類似解答的路徑)；(2)有時相似解無法幫助我們解決問題，此時藉由類似的問題有類似的流程來解決(此為類似問題有類似流程的路徑)。

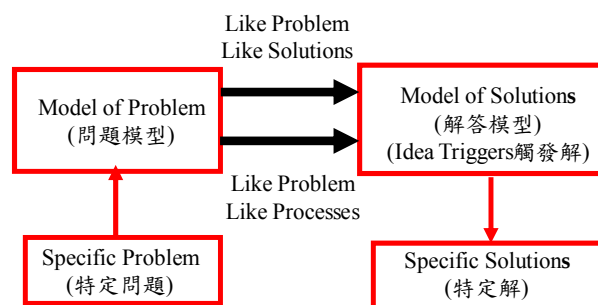


圖 8 萃智問題解決模式

提出之元件削剪解題模式如圖 9 所示，其如同圖 8 之萃智問題解決模式，並應用其相似問題有相似流程之途徑來解決問題。首先待解決之問題系統會透過功能分析形成系統的功能模型，而此功能模型即為當前系統的問題模型，

接著需將問題模型轉化成解答模型，即是將功能模型藉由修剪流程(下一節將詳細說明)進行修剪，得到最終修剪的系統即為修剪模型。而一個問題模型可以轉成多個解答模型，一個解答模型可以轉化為多個特定解，是相當有可能的事。理論上，任何萃智或問題解決工具皆可以將修剪模型轉化為一些問題的特定解，並於圖 8 中右邊指出問題解決工具具有很高的可能性去具體化修剪模型的解答。

2.7 修剪流程的詳細說明 (Details of The trimming process)

2.7.1 修剪流程的運作 (Algorithm of the Trimming Process)

圖 9 詳細的修剪流程將於本節進行說明，分解後之流程如圖 9、10 及 11 所示。

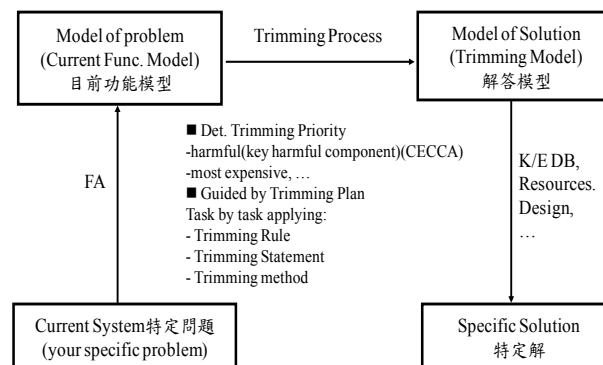


圖 9 元件修剪問題解決模式

圖 10 為修剪流程的外部迴圈，並根據特定之優先序逐一的修剪目標元件。

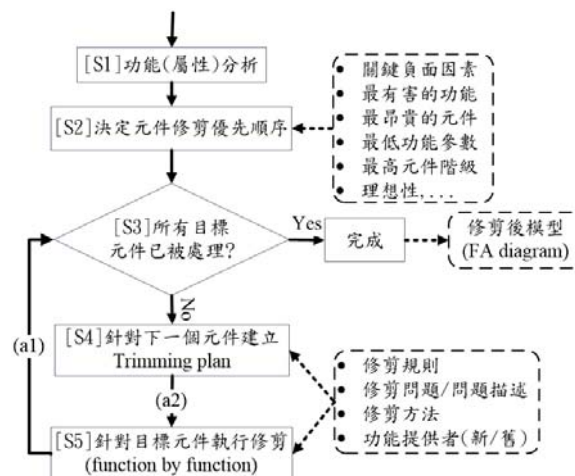


圖 10 修剪流程的外部迴圈

- 步驟[S1]：運用功能分析對系統進行分析以呈現系統運作狀況，並以系統的功能模型作為修剪流程的起點。
- 步驟[S2]：此步驟決定欲修剪之元件以及元件修剪之優先順序，目前已有許多方法可用來決定元件處理優先序，本研究建議以最核心關鍵的不利點或最昂貴的元件，作為優先刪除的順序。
 - 最核心關鍵的不利點：不利點指的是功能模型中的負面功能，包含有害功能、過多功能及不足功能，通常有害功能為優先刪除的目標。而因果鏈分析(Cause Effect Chain Analysis, CECA)或因果衝突鏈分析(Cause Effect Contradiction Chain Analysis, CECCA)可以幫助使用者辨識關鍵不利點及最核心關鍵不利點(Sheu and Tsai, 2012; Sheu et al., 2012)，因果鏈分析從目標不利點開始，逐步往深層檢視可能的原因，直至辨識出造成表面痛處之負面因素，而這些在原因層級最底層之負面因素即為關鍵不利點。核心關鍵不利點是指最小一組的關鍵不利點，只要消除此關鍵不利點，即可以消除所有的目標不利點。因果衝突鏈分析為強化的因果鏈分析，其加入相關參數於負面因素以及負面因素所產生的正面因素，以助於我們辨識衝突。於 3.2 節有此因果衝突鏈分析之案例應用。

- 另一個優先進行削剪的建議為從元件的成本來考量，也就是說成本越高的元件，越優先進行削剪。
- 圖 9 中還有其他如何決定削剪的優先序的建議(Mann, 2007)，只是較顯少使用，本研究予以忽略。

● 步驟[S3]、[S4]及[S5]：構成削剪流程的外迴圈與內迴圈，逐一的進行每一個元件的削剪。

圖 11 顯示為削剪元件 C1，其提供之所有功能皆必須處理，不是削剪就是使他不再需要，基於這樣的觀念，削剪元件提供的所有功能的內迴圈如圖 12 所示。簡而言之，外迴圈為步驟[S3]至[S5]，主要依據削剪優先序進行每一個元件的削剪，而步驟[S5]為內迴圈，主要在進行當前元件提供之所有功能的削剪。

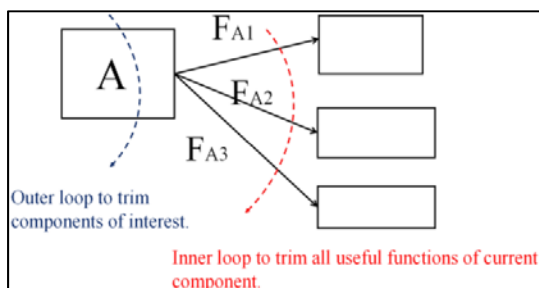


圖 11 元件的削剪

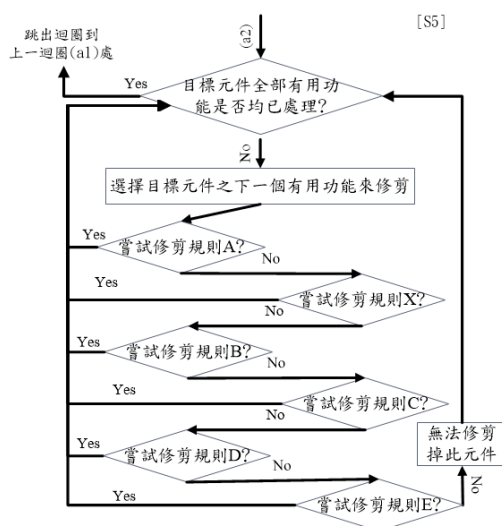


圖 12 削剪目標元件提供的所有功能之流程

內迴圈的削剪流程可進一步擴展為如圖 12，針對先前於如表 1 的削剪計畫中，所訂定的削剪任務其組成的所有功能進行削剪。圖 12 顯示根據先前提及削剪優先序之建議，應用削剪規則 A 至 E 的順序進行削剪，若越先進行削剪的規則可以成功執行，則後續的規則可以直接略過不用，且表示功能已成功的削剪，若沒有任何一個規則可以成功的執行削剪，則削剪此任務之特定功能失敗，表示此元件功能無法被削剪，對於此情況，並非直接跳出此內迴圈至外迴圈，然後嘗試對下一個元件進行削剪，作者建議應該對當前元件之其他功能繼續進行削剪，直到當前元件的所有功能皆已處理，以獲得最大的削剪效果。

參考圖 13，應用規則 A 削剪元件 B，同時需要削剪元件 A 作用在元件 B 的所有功能，接著削剪功能提供者元件 B 的新的削剪任務會出現，同樣用規則 A 至 E 來削剪元件 B 提供之所有功能。

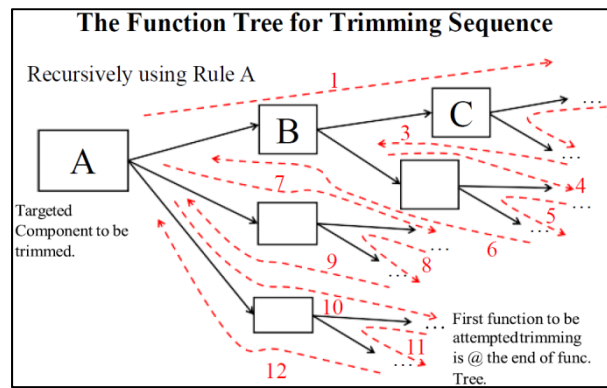


圖 13 深度優先遞迴修剪順序

圖 13 為一個深度優先的遞迴修剪順序，以元件為節點從最高至最深的順序使用規則 A 至 E 逐一的修剪，每一功能的修剪任務順序皆被圖 13 指出，不論每一修剪任務成功與否，此深度優先的方法，其過程最終都會走過所有下游之元件及功能，以達到全面性的修剪結果。修剪後最終系統的功能模型即為修剪模型，其被作為實體化成特定解的目標。

2.7.2 修剪計畫協調修剪任務執行的使用 (Usage of Trimming Plan to Orchestrate Execution of Trimming Tasks)

執行每一個修剪任務的過程如圖 12 中箭頭所指示，修剪計畫如同表 1 用來協調修剪任務的修剪邏輯順序，當元件 C1 被視為功能提供者須進行修剪時，所有以元件 C1 延伸之修剪任務需逐一的在修剪計畫中列下，修剪任務的順序就如同圖 13 中深度優先的方式進行，每個修剪任務的元素會被放入修剪計畫的欄位，而每列皆為一個修剪任務。每個修剪任務填入修剪計畫中的流程如下：(見表 1)

1. 填入欲修剪的功能提供者
2. 填入功能提供者提供的下一個功能
3. 填入功能接受者
4. 填入下一個欲使用的修剪規則，如圖 12，使用規則 A 至 E 的順序進行每一個功能的修剪，只要順序較前之規則成功修剪功能，順序較後的規則可以直接忽略不用，若所有規則皆已使用卻未能成功修剪功能，表示對此功能提供者所提供之功能修剪失敗，我們便會回到圖 12 的第一步進行判斷，在任何情況下，應持續進行此功能提供者其他功能的修剪，直至所有功能皆已處理完畢。
5. 確定運用新的功能提供者替換原有功能提供者，基於修剪規則的考量，規則 A、X、B、E 不需要新功能提供者，規則 C 及 D 則需要新功能提供者，下一節將說明找出新功能提供者的方針
6. 形成一個修剪問題，我們需要聚焦於修剪任務執行力的思考，典型的修剪問題模式已於 2.5.4 節說明。
7. 應用 1 至 6 的資訊設想修剪任務的修剪方法
 - 使用規則 A 的情況：此任務的執行會被傳遞至下一任務的執行，目前修剪任務的功能接受者會做為下一任務的功能提供者，指出修剪方法為做為下一任務的功能提供者，繼續進行下一個元件及其功能的修剪，結束此任務修剪前，功能會產生另一個遞迴修剪的內環圈，其路徑圖如 13 所示。
 - 使用規則 X 的情況：使用者須找一個不同的運作原理，讓功能接受者不在需要目前的功能。接近原本狀態。
 - 使用規則 B 的情況：找到一種方法，讓功能接受者自我提供功能。顯示出現況。
 - 使用規則 C & D 的情況：指出新功能提供者如何提供所需功能。
 - 使用規則 E 的情況：指出此降級的系統有何利基市場，使我們可以不再需要功能提供者及其功能。

一旦所有有用功能皆已處理，該元件也就會被處理，當所有元件皆已處理，修剪模型便因此產生，並作為抽象的解答模型，進而實體化此模型為特定概念解如 2.7.4 所述。

2.7.3 辨識新功能提供者的方針 (Guidelines to Identify a New Carrier)

有兩種方法可以用來辨識新的功能提供者，表 3 顯示選擇新功能提供者的功能關係考量，當有必要選擇一個元件作為替代的功能提供者，Ikovenko 建議在四個條件中至少需滿足其中一個：(Ikovenko, 2009)。

表 3 功能關係考量

優先序	相同功能	相同目標
1	Y	Y
2	Y	N
3	N	Y
4	N(可用資源)	N

1. 元件已產生相同或相似的功能於功能接受者
2. 元件已產生相同或相似的功能於其他目標物
3. 元件已產生任何功能於功能接受者或與功能接受者有最小的簡易互動
4. 元件具有執行所需功能的必要資源

另一個考量是系統元件階層中系統間的相似性，當我們將系統解構並以樹狀的結構表示，可以輕易的從此階層中相鄰近的元件，取得新的功能提供者。以圖 14 的案例來說明(Mann, 2007)，當擋風玻璃破裂，我們可以削剪擋風玻璃，並把它的功能托付給系統元件階層中鄰近的其他元件，如玻璃。

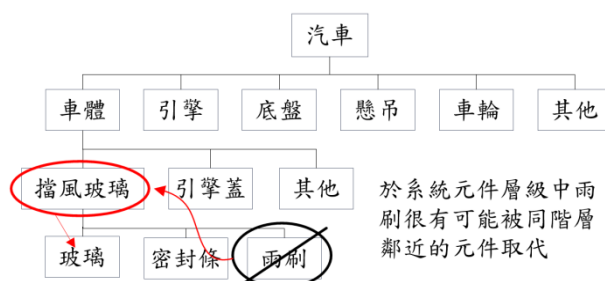


圖 14 汽車系統元件階層

2.7.4 轉換削剪模型成特定解 (Converting from a Trimming Model to Its Specific Solution)

所有上述的過程都是在幫助我們往解答模型的階段前進，如圖 8 所示。產生的削剪模型為我們特定解的抽象模式，最後一步驟就是具體化削剪模型為特定解。理論上來說，任何問題解決工具可以用來將削剪模型轉換成特定解，下列幾項萃智工具過去曾有效幫助我們具體化解答模型為特定解：

- 功能導向搜尋(FOS)：是將我們問題需求轉換為所需之功能/屬性已成功達成計畫的削剪，而功能/屬性用來作為關鍵字，以利我們搜尋遍及全球的資訊與知識庫，幫助我們找出任何技術或根本的科學效應，即可用來達成解答模型的相關功能/屬性。
- 科學效應知識庫(K/E DB)：根據過去數以百萬計的專利，多數萃智研究人員將以整理、編輯成科學效應知識庫，主要由可以執行相關功能的物理/化學效應所組成，例如：如果我要尋找東西來移動液體，科學效應知識庫提供超過 45 種不同的方法來移動液體。此為一免費、簡易使用的簡化版效應知識庫 <http://function.creax.com/>。(CREAX Function Database, 2011)，雖然有其效用，但是提供之效應不夠完整，另一個免費的科學效應知識庫為 <http://www.oxfordcreativity.com>。(Oxford-Creativity, 2012)，商業用的萃智資料庫系統，如：Goldfire 和 Pro-Innovator 包含更多資訊及說明，但價格昂貴。
- 發明原則：40 發明原則(Altshuller, 1998)用來刺激我們的思考，因此產生特定解。如果基本的衝突已於前面所述之因果衝突鏈分析中辨識出，衝突矩陣可以高度優先的用來辨識發明原則以解決問題。
- 趨勢：萃智工程系統演化趨勢以趨勢的演化來刺激我們的思考並辨識出解答，幫助我們得到特定解。
- 資源：萃智的資源工具提供使用者，以充分利用現有資源的系統化方式來達到相同效果，其方法為轉換原本無用/忽視的資源維有用或是將有害資源變為有用資源。

下一節將以實際案例說明削剪流程及萃智解答工具的使用。

三、案例應用 (A Case Example)

本節將說明削剪流程應用於半導體產業的改善與顯著成果，此外亦有其他成功案例，但礙於商業機密與篇幅關係，僅舉此例。

3.1 案例背景說明 (Case Background)

圖 15 為一上視圖，是台灣半導體製造商所使用的設備之一「化學氣相沉積機台」，(Chemical Vapor Depositor, CVD)。其中，部分腔室(Process chamber)與傳送模組(Transfer module)及閘閥(Slit-valve)的立體示意圖，如圖 16 所示。

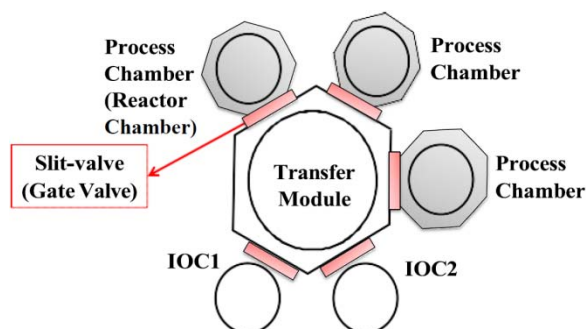


圖 15 化學氣相沉積機台上視圖

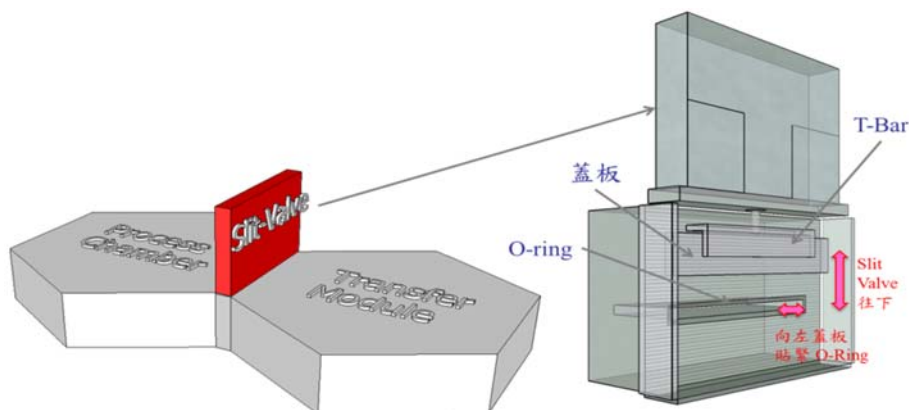


圖 16 閘閥與腔室立體示意圖

於圖 16 閘閥關閉閥門時有兩個步驟：(1)閘閥推動 T-Bar 往下；(2) 蓋板向左邊機台腔壁緊貼，覆蓋腔壁上的 O-ring。要開啟閥門時，其步驟則與關閉時相反。閘閥解構如圖 17 所示，一共涵蓋 18 個零組件。其問題為此製程使晶圓表面產生缺陷且缺陷位置大致上相同，工程師便仔細追蹤，發現其原因為閘閥模組失效所致，並確定是導引滑塊組合(編號 5 的元件)的兩個突起角斷裂，如圖 17 紅色圈起處，其造成蓋板關閉時，施力不均而位置偏移產生顆粒，加上抽真空作用使得顆粒汙染晶圓，而汙染位置相當靠近閥門口。

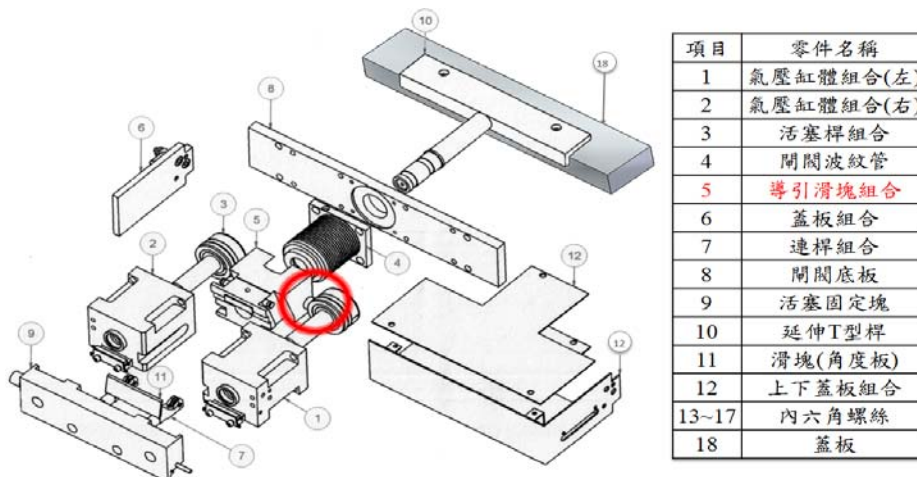


圖 17 閘閥系統元件

圖 18 顯示導引滑塊突起角受應力集中、機械疲勞的位置，一般工程師多就斷裂處進行零件更換或做局部之補強，將導引滑塊組之軸承(stem holder)改成可拆卸式的獨立零件，以方便後續的維修與定期更換，如圖 19 所示，其利用擴大受應力的面積，以減低局部斷裂的問題，進而延長閘閥機構使用壽命，但此問題並未根本性地解決，故本研究欲使用削剪的方式，針對閘閥之問題進行改善，以產生更強大、精緻的解答。

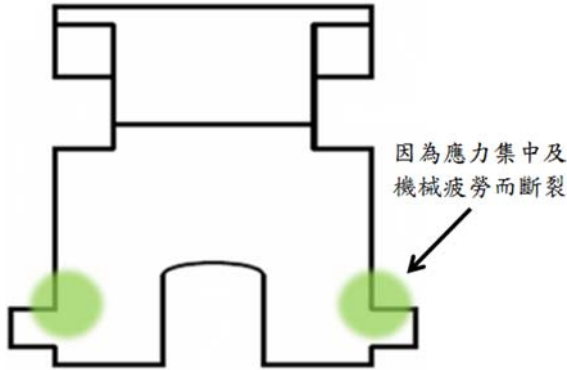


圖 18 根本原因於導引滑塊突角處

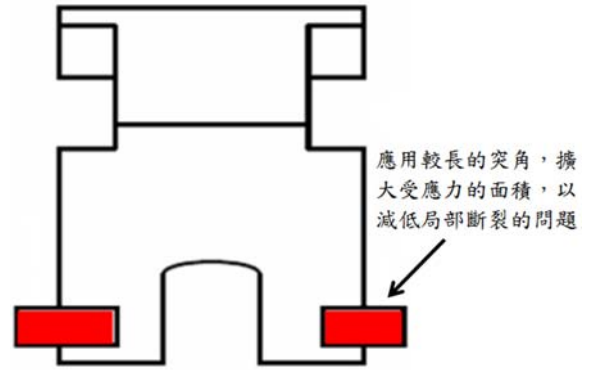


圖 19 目前解決方式

3.2 問題解決方法概觀 (Overview of Our Problem Solving Approach)

作者應用削剪的問題解決方法，已於第 2 節說明，並以此做為案例應用。整體問題解決流程如圖 20 所示，其如同圖 8 所述之流程。閘閥系統之功能模型如圖 21 所示，因果衝突鏈分析如圖 22 所示。

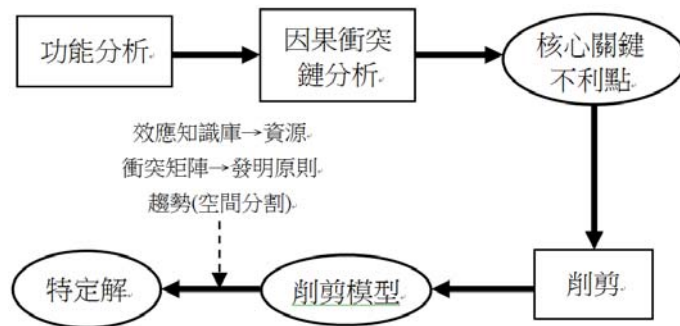


圖 20 同圖 9 中功能分析與特定解的削剪流程

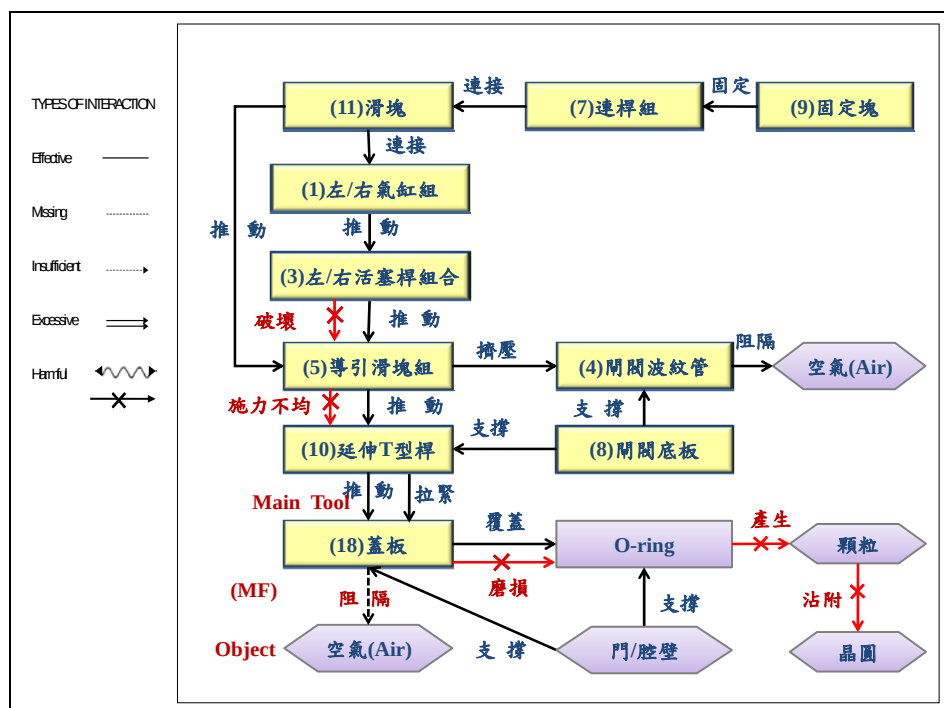


圖 21 閘閥系統失效之功能模型

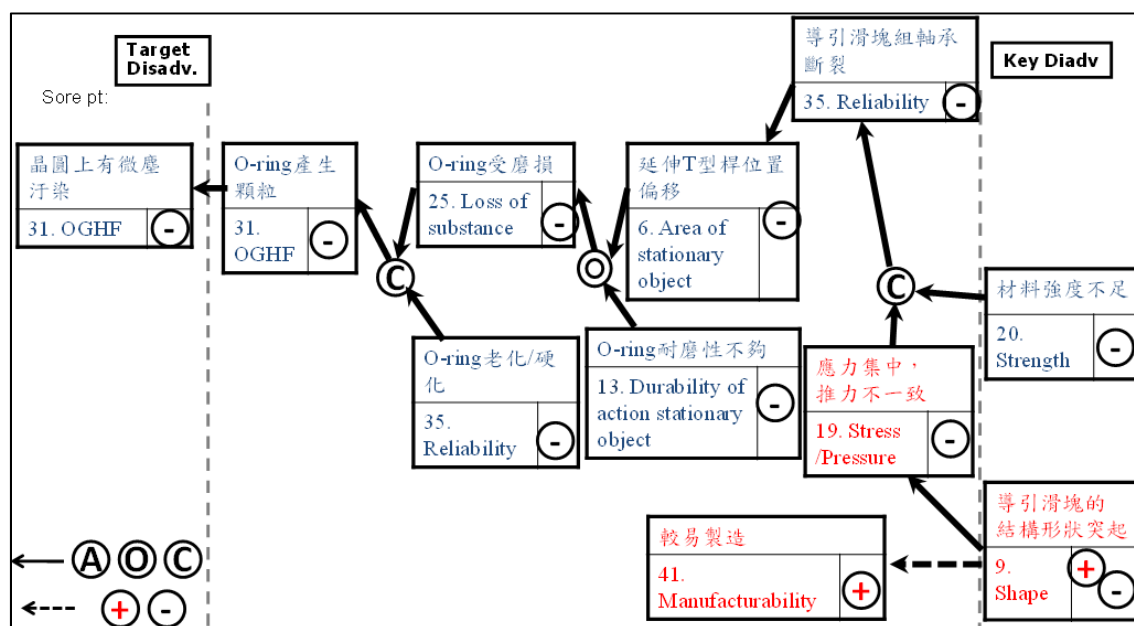


圖 22 閘閥系統因果衝突鏈分析

因果鏈分析一開始，從系統的表面痛處作為目標不利點，接著針對此目標不利點辨識相關原因，直至階層最底部，即為關鍵不利點，如圖 22 最右邊，這些關鍵不利點就是根本的原因。而因果衝突鏈分析的目標為：

- 提供問題因果結構的層級關係，使我們可以著手解決來自最底部、根本性的問題，如圖 22 最右邊。如果我們無法解決最低層級之問題，可以退一個階層，以解決次低階層的問題。也就是說我們只要解決目標不利點往後延伸的任何一個不利點，目標不利點本身也會一起消除。因果衝突鏈分析提供我們完整的問題範圍，使我們得以著手解決並消除目標不利點，因此，在因果衝突鏈分析中會顯現問題的整體範圍，相當有可能使我們得到多種解答。
- 允許我們辨識不利點的衝突。藉由將不利點所相對應之工程參數填入不利點下方，幫助我們辨識衝突，因此可直接使用衝突矩陣與發明原則來解決問題。在做完因果鏈分析後，所有不利點或失效皆需標記符號，並以(-)表示為負面因素，接著逐一檢視不利點，思考是否除了產生負面因素外，還會產生正面因素，若是，該不利點

即為我們所找的衝突點。不利點不僅貢獻與前者之因果關係層級，亦助於正面因素的辨識，而正面因素用(+)表示。同時擁有負面因素(-)及正面因素(+)的不利點，即為物理衝突，表示同一系統參數自我矛盾，而其所造成的負面因素和正面因素為一工程衝突，即兩參數互相矛盾。

圖 22 的因果衝突鏈分析指出，材料強度不足以及導引滑塊的結構形狀突起為關鍵不利點，處理材料強度不足的問題其成本較昂貴，因此決定處理導引滑塊的結構形狀突起的問題。

使用削剪的思維模式來進行解題需問：

1. 從因果衝突鏈分析中，辨識出的核心關鍵不利點為何？答案：導引滑塊的結構形狀突起
2. 哪個元件是問題製造者？我可以刪減他嗎？
3. 哪個元件是問題受害者？我可以刪減他嗎？

接著我們運用如第二節圖 9 至 11 所述的削剪流程，開始對問題製造者進行削剪。

3.3 削剪流程 (The Trimming Process)

延續上一節的推論，功能模型的削剪過程描述如下：

1. 削剪活塞桿：削剪任務如圖 2 方式呈現，使用削剪規則 A 削剪活塞桿，我們接著將刪減導引滑塊，如圖 23 所示。

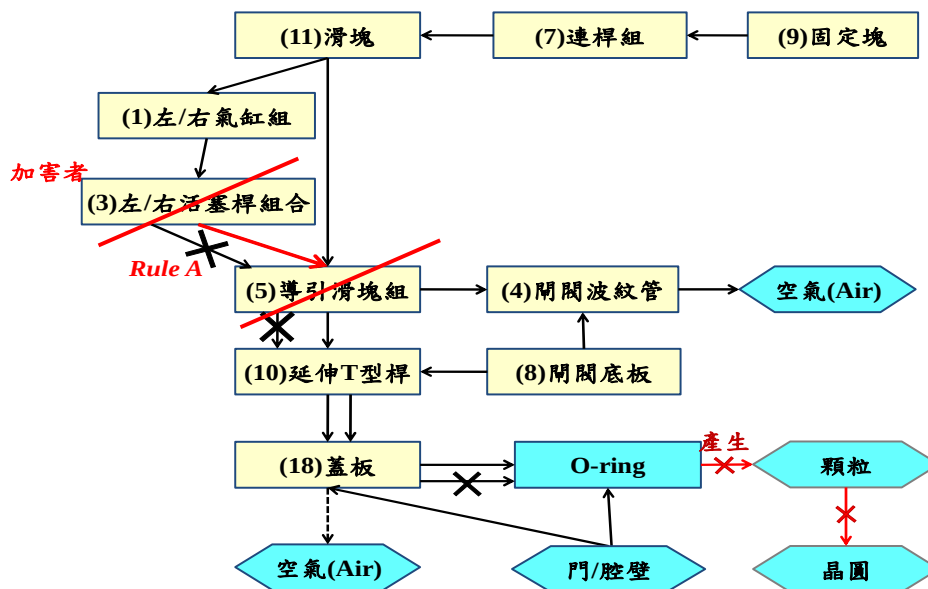


圖 23 削剪活塞桿

2. 削剪導引滑塊：同樣的方式，用削剪規則 A 削剪導引滑塊，再來我們需要削剪閘閥波紋管，如圖 24 所示。
3. 削剪閘閥波紋管：使用削剪規則 A 削剪閘閥波紋管，接著要削剪 T 型桿，如圖 25 所示。

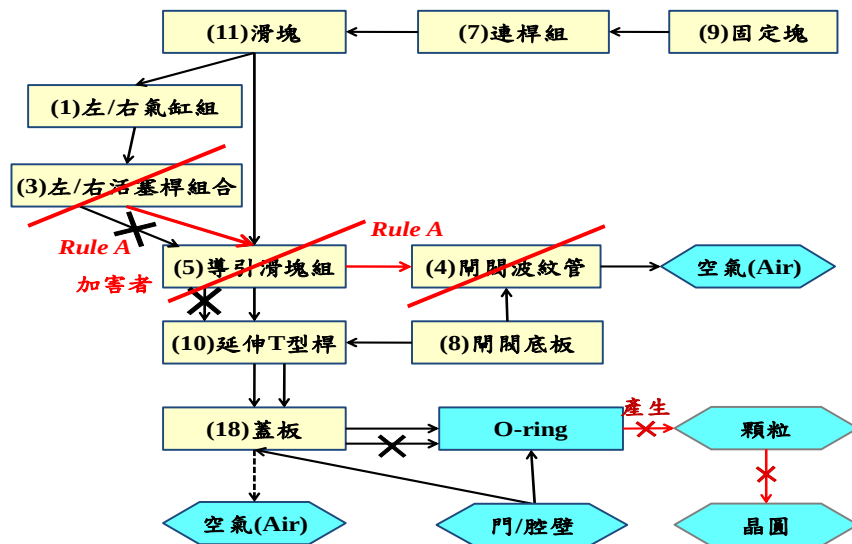


圖 24 削剪導引滑塊

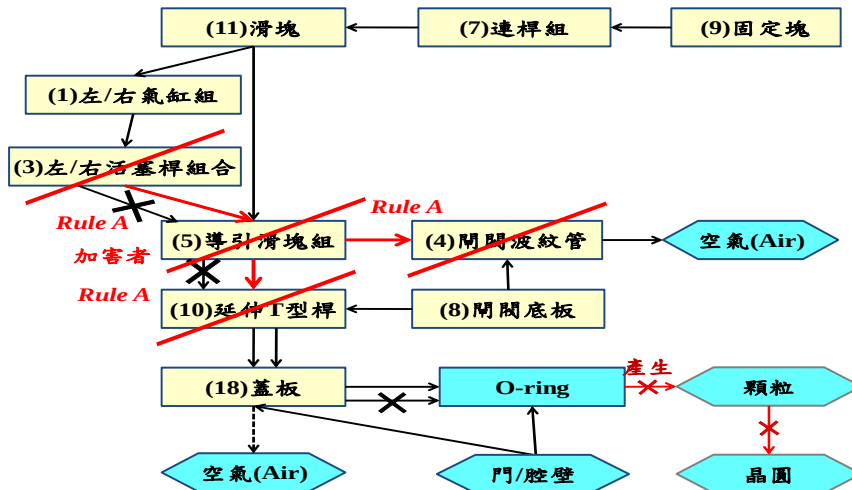


圖 25 削剪導引滑塊

4. 削剪 T 型桿：表 4 顯示削剪 T 型桿的削剪任務順序，削剪規則 A、X、B、C 都有使用，由於蓋板為此系統的主要工具，所以我們決定不刪減蓋板，因此規則 A 與 X 都削剪失敗。圖 26 顯示削剪 T 型桿的狀態，由於 T 型桿被削剪，所以，所有支撐 T 型桿的元件都可以刪減掉，圖 27 為此系統最終的削剪模型。

表 4 T 型桿的削剪計畫

功能提供者	功能	目標元件	修剪規則	新功能提供者	修剪問句	解決此修剪工作項的方法
延伸 T 型桿	移動 (推動)	蓋板	Rule A	Null	如何能刪除蓋板？	Trim 蓋板,但蓋板是 Main Tool，無法被 trim，Next task
延伸 T 型桿	移動 (推動)	蓋板	Rule X	Null	是否可刪除功能？	N/A，Next task
延伸 T 型桿	移動 (推動)	蓋板	Rule B	蓋板	如何讓蓋板推動自己？	利用壓力差或重力
延伸 T 型桿	移動 (推動)	蓋板	Rule C	??	如何用現有元件推動蓋板？	利用重力
延伸 T 型桿	移動 (拉緊)	蓋板	Rule A	Null	如何能移動蓋板？	N/A，Next task
延伸 T 型桿	移動 (拉緊)	蓋板	Rule X	Null	如何能不移動蓋板？	N/A，Next task

延伸 T 型桿	移動 (拉緊)	蓋板	Rule B	蓋板	如何讓蓋板推動自己？	有辦法可能解決或 next task
延伸 T 型桿	移動 (拉緊)	蓋板	Rule C	??	如何用現有元件拉緊蓋 板？	利用壓力差

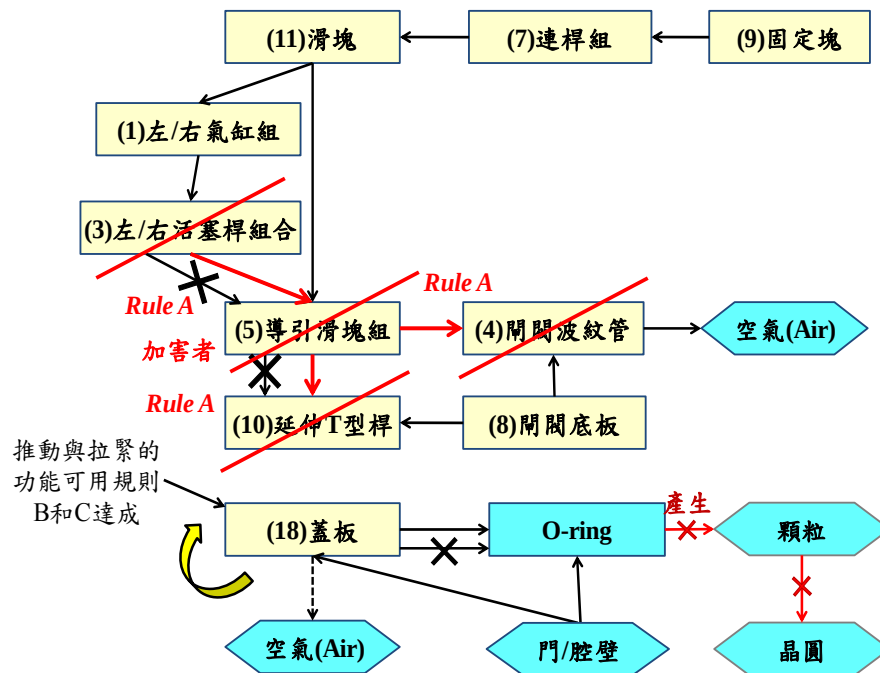


圖 26 T 型桿最終修剪狀態

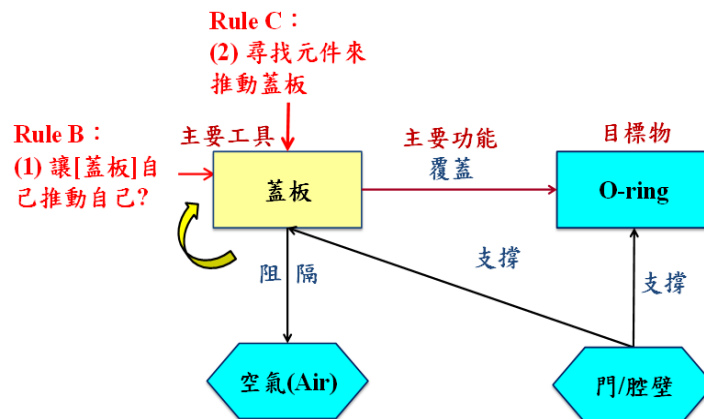


圖 27 最終修剪模型

3.4 修剪模型具體化 (Substantiation of the Trimming Model)

根據圖 27 最終修剪模型，我們需要蓋板推動自己或有其他元件可以用來推動蓋板，使蓋板可以適當貼緊 O-ring 封閉閘門，於是將功能降至基本層級為「移動固體」，利用萃智資料庫尋找過去專利，找出移動固體的方式以便我們參考使用，從 CREAX Function Database [CREAX]中找到至少 36 個移動固體的方式，進一步檢視系統周遭的資源，確定了三種方法，分別為電磁力、重力及壓力差可用來具體化修剪模型，而重力與壓力差為現有環境中可取得的資源。此外，使用先前因果衝突鏈分析中辨識出的衝突，利用 Darrell Mann's Matrix+的軟體，找尋可能的發明原則，提供解答的概念。而衝突中欲改善參數為(19)壓力、應力、(20)強度、(25)物質的損失、(35)可靠度，惡化參數為(41)系統複雜性、(45)易製造性，透過 Matrix+得到數個發明原則的建議，分別為(17)轉變到其他維度、(3)局部品質、(28)取代機械系統、(13)反向操作，我們應用發明原則(13)反向操作，來具體化修剪模型，利用嵌入在腔室的蓋板進行開關，而非傳統外部蓋板貼附腔室的方式，其概念解的側視圖如圖 28 所示。

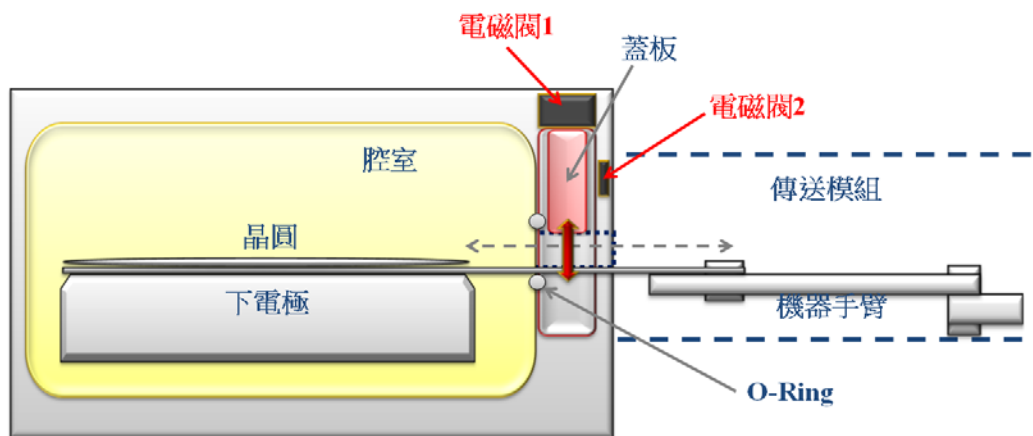


圖 28 嵌入式閘閥概念圖

此概念解的特點：

- 已不是由原來的 18 個零組件，所構成的龐大外部機械結構，削剪後的解答僅用三個元件：嵌入於腔室的蓋板，以及位於蓋板上方與側邊的兩個電磁閥，而蓋板由具吸磁性的材料組成，使電磁閥可移動蓋板。
- 關閉蓋板時，利用重力使蓋板自動向下移動，沒有使用任何能源成本，接著由於腔室需要抽真空，所以可以利用腔室與傳送模組之間的壓力差，使蓋板自動向 O-ring 貼緊封閉。閘閥在關閉蓋板時完全不需要任何能源操作，有 90%的時間用於設備的運作時間。當鬆開蓋板開啟時，側邊的電磁閥利用電磁力的方式將蓋板從 O-ring 拉開，接著上方的電磁閥再使用電磁力吸取蓋板，使其向上開啟，不像原本的機械結構，需要花費能源全部的時間去移動約 6 公斤的蓋板並維持他，本研究提出之削剪解答，只需花費 10%的時間，使電磁力去移動約 0.6 公斤的蓋板。由於需要能源運作的時間為 10%，以及需要之能源為原本負荷的 10%，所以削剪後的解答只需花原方案約 1%的能源去操作。
- 此外，使用萃智趨勢中空間分割的趨勢，我們可以使蓋板中空或具多個空洞，進一步減少其重量。

將半導體製造商或工程師提出的原解決方案與本研究運用削剪方式所提出之方案進行比較，如表 5 所示。

表 5 原方案與削剪方案比較表

	項目	前	後	改善(%)
原方案	元件總數	18	20	$(18-20)/18 = -11.1\%$
	系統成本	NTD 229,000	NTD 80,000	N/A
	能源節省	無	無	需要能源維持 6 kg*20 min
削剪方案	元件總數	18	3	$(18-3)/18 = 83.3\%$
	系統成本	NTD 229,000	NTD <10,000	$(229000-10000)/229000 = 95.6\%$
	能源節省	120	1.2	從 6 kg*20 min 的週期到現在只要 0.6 kg*2 min(開啟時)

1. 原方案全面維修的維修成本為 80K，新系統的價格為 229K。(所有成本以新台幣計算)
2. 20 分鐘的運作週期，18 分鐘為閘閥關閉，只有 2 分鐘為閘閥開啟。(10%時間)
3. 新的設計僅使用電磁力於閘閥開啟時 1/10 的時間，且 0.6 kg 的蓋板重量，為原重量的 1/10，所以新的設計開啟蓋板的能量僅需要原能量的 1/10，即 1%的能源就可開啟蓋板。

削剪解答的優點包含：

- 藉由系統再設計消除永久的失效模式「導引滑塊突起角的斷裂」，新系統使用眾所皆知的可靠度元件，且使用的元件數極少，較不易產生失效。
- 明顯減少元件的總數從 18 個變為 3 個，整體減少 80%以上的元件數量及 95%多的元件成本。
- 利用現有資源「重力」及「壓力差」的優勢，用 90%的時間在作關閉、拉緊閘門，加上減少 90%的重量，運作能源於理論上節省約 99%。
- 嵌入式閘閥大幅降低整體空間與材料的使用。
- 將蓋板內部結構中空，進一步降低重量，以及能源與材料的使用。

此成果目前已撰為專利，且已申請美國專利及中華民國專利(Sheu and Hou, 2011a；Sheu and Hou, 2011b)。

四、結論與貢獻 (Conclusions and Contributions)

本研究建立針對實體元件削剪的系統性方法及理論架構，為與流程削剪及組織削剪對比，其命名為元件削剪，而元件削剪模式的流程與萃智問題解決模式的方式一樣。透過削剪計畫協調排序所有削剪任務，及適用的削剪規則、削剪陳述，虛擬化削剪系統成削剪模型，削剪模型則輔助、導引我們思考，以具體化成特定解。本研究提供雙迴圈的遞迴削剪流程，以最大化削剪的程度，並應用至半導體設備問題作驗證，得到顯著的改善，包括減少 80%以上的元件數量、95%多的系統重組成本及節省約 99%運作能源。

本研究貢獻包含：

- (1) 建立削剪的理論與流程並和萃智問題解決流程相連接；
- (2) 創造削剪計畫，以系統化的組織削剪流程中的削剪步驟；
- (3) 建立雙迴圈的遞迴削剪流程，以最大化削剪的強度；
- (4) 展現削剪後可運用資源的方式具體化觸發解；
- (5) 應用削剪方法改善半導體流程設備問題，得到顯著的改善效果。

五、致謝

感謝國科會計畫補助：NSC 99-2221-E-007 -026 -MY3，使本研究能順利發展。

參考文獻

1. Altshuller, G. (1998). 40 Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation, Technical Innovation Center.
2. Altshuller, G. (1999). Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity, Technical Innovation Center Inc., New York.
3. Ikovenko, S. (2009). Training Materials for MA TRIZ Level 1, GEN3 Partners.
4. Mann, D. L. (2007). Hands on Systematic Innovation, IFR press.
5. OxfordCreativity. (2012). Available on line at: <http://www.oxfordcreativity.com>, Accessed 2012.
6. Sheu, D. D. (2007). Body of Knowledge for Classical TRIZ, the TRIZ Journal.
7. Sheu, D. D. (2011). Mastering TRIZ Innovation Tools: Part I, Agitek Consulting, Incorporated.
8. Sheu, D. D. and Hou, C. T. (2011a). Self-closing Embedded Slit Valve, R.O.C. Patent pending.
9. Sheu, D. D. and Hou, C. T. (2011b). Self-closing Embedded Slit Valve, U.S.A. Patent pending.
10. Sheu, D. D. and Tsai, M. C. (2012). Cause Effect and Contradiction Chain Analysis for conflict Identification and Problem Solving, the 2nd International Conference on Systematic Innovation.
11. Sheu, D. D., Tsai, E, and Rau, H, (2012). Integration between Cause-effect Chain Analysis and Root Contradiction Analysis and Its Applications, the 3rd International Conference on Systematic Innovation, Seoul, South Korea.
12. Verduyn, D. (2006). *Systematic Tools for Innovation: The Trimming Technique*, technical report, PDMA Meeting, Detroit Chapter, held at UDM.
13. Weaver, J. B. (2009), *Systematic Tools for Innovation: The Trimming Technique*, technical report, University of Detroit Mercy.
14. Web Dictionary. (2012). Available on line at: <http://www.thefreedictionary.com/system>, Accessed 2012.

作者簡歷



Dongliang Daniel Sheu is a professor in Industrial Engineering at National Tsing Hua University in Taiwan since 1996. Before joining the university, he has nine years of industrial experience in electronic manufacturing. Daniel holds a B.S.M.E. degree from National Taiwan University, an M.S.M.E. degree from State University of New York at Buffalo, a Ph.D. in Engineering and an M.S. Engineering Degree from UCLA, and an MBA degree from North- western University. His areas of interests include Systematic Innovation/TRIZ, Electronic Design and Manufacturing Management, Semiconductor Equipment Management, and Electronic Factory Diagnosis. Daniel is the founding President of the Society of Systematic Innovation. He can be reached at sheu.daniel@gmail.com.



Hou Chun Ting is a staff engineer in Quality Assurance Division at United Micro-electronics Corporation since 2004. Before then, he has 9 years of etching module and IT system coding experience in semi-conductor with UMC 6" Fab, 8" Fab. Hou received his Master's degree in industrial engineering from National Tsing Hua University in 2010. His areas of interests include Systematic Innovation/TRIZ, ISO/TS16949, QS9000 tools ex: FMEA 、Control Plan 、MSA 、SPC, Supplier Management, and coach of Taijiquan.