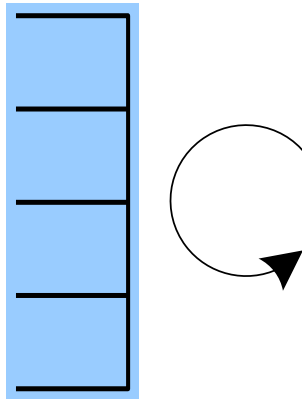


# 拉式排程系統概要

(Pull Scheduling Systems Overview)

**David Hallett**

(Copyright © David Hallett 2009)



## 作者序

閱讀本文您將看到能永久轉變營業想法的有力概念。拉式排程（Pull Scheduling）確實是種需要思維轉變的作法，一種不同於當今最常見之排程方式。這樣的系統已被證實絕對優於傳統方法，能對企業經營帶來超出想像的良性影響。

我將以對您而言或許是新想法來挑戰您的思考，一開始似乎是『與直覺相反』，即是如依照經驗與直覺的反應，你是不會採取的方式。然而，當你知道了這樣的概念，並且應用了這樣的概念後，你的思考構面將擴展至不同的層次。

於本文，我分享普遍的拉式排程原理，無論公司或場景為何，其概念的正確性是通用的。我也將分享一些多年實務所得的實踐技巧，這些將協助您針對您的情況操作正確的方法，同時提供一些應該從何處開始應用拉式系統（Pull Systems）的見解。

## 關於作者

David 應用拉式系統於實際工作已有二十年以上的歷史。過去十多年多以來，他從事管理顧問工作，全力投入協助企業改善營運管理，主要在於應用精實生產（Lean Manufacturing）與限制理論（Theory of Constraints）於改進企業的營運模式。

Copyright © David Hallett 2009  
[www.PullScheduling.com](http://www.PullScheduling.com)

David 的求學背景為工業工程，在日本學習與精進其精實生產的技能，而且直接參與日本的精實 Sensei 在美國的開發工作。他在 Goldratt Institute 學習並取得限制理論的認證。

David 致力於成為顧問與講授，過去十多年多以來，參與過超過百家的顧問工作，並參與許多國家級會議、專業社群與國際企業研討會。他為顧問公司及各重生產延伸伙伴中心（Manufacturing Extension Partnership，MEP）提供專業能力與服務。

David 目前受聘於位於紐約 Buffalo 之 MEP 中心的 Insyte Consulting 機構。

## 目錄

I	拉式系統之境遇 (The Case for Pull Systems)	四頁
II	拉式系統的類別 (Types of Pull Systems)	十五頁
III	實施拉式系統 (Implementing Pull Systems)	二十頁
IV	結語 (In Conclusion)	二十二頁
	附錄 A - 拉式系統比較表 (Appendix)	二十三頁
	專門術語與概念之詞彙表 (Glossary of Terms and Concepts)	二十四頁

## I. 拉式系統之境遇 (The Case for Pull Systems)

本章回顧拉式系統的基礎知識，與應用拉式系統對企業經營的利益。

故事從此開始

我第一次接觸拉式系統是在 1980 年代中期，當時我服務的公司是一家地鐵車廂再製造商 (a subway car re-manufacturer)。地鐵車廂再製造商的工作是，重新加工與升級二手的產品使它們像是新 (或更好) 的產品。以地鐵車廂產業而言，車廂還在行駛服務時，運輸管理局便委託再製造商車廂重整的合約。重整車廂必須從行駛服務的軌道移走，運輸管理局不喜歡這樣做 (顯然地)。如果真的將車廂移走，他們想要盡可能在最短的前置時間 (the shortest lead-time) 內放回去。

地鐵車廂產業中，大多再製造商的合約有三項必要條件：

- 在製品 (Work in Progress, WIP) - 在任何設定的時間內，運輸管理局容許移走的地鐵車廂數量，即是再製造商能加工的車廂數量。
- 前置時間 (Lead-time) - 地鐵車廂被從行駛服務移走，直到回歸行駛的時間長度。
- 數率 (Rate) - 每個時間單位地鐵車廂被送交運輸管理局的數目。

在這段期間，我負責兩個任務：再製造程序的排程，及監督和分析關於這個程序的成本。一段時間後，我察覺到上述三個變數間的關係：

- 前置時間 = 在製品 / 數率 [Lead-Time = WIP / Rate]

在後來的工作裡，我才知道這是被稱為『Little's Law』的程式，這個小程式卻相當有用，這是拉式系統的關鍵要素之一。[譯者註：Little's Law [http://en.wikipedia.org/wiki/Little's\\_law](http://en.wikipedia.org/wiki/Little's_law); <http://xquality.blogspot.com/2007/12/littles-law.html>]

來看看兩個例子。假如合約上的在製品數量是 10 個車廂，而我能每週完成 2 個車廂，那麼前置時間是多少呢？

- 前置時間 = 在製品數量 / 比率 = 10 個 / 每週 2 個 = 5 週。

假如在製品數量是 20 個車廂，而必須在 4 週的前置時間完成，那麼數率必須是多少呢？

- 首先轉換程式，『前置時間 = 在製品數量 / 數率』轉為『數率 = 在製品數量 / 前置時間』。
- 數率 = 在製品數量 / 前置時間 = 20 個 / 4 週 = 每週 5 個。

後來，當我正式更深入理解拉式系統時，我察覺到實際上我們的客戶迫使我们採用一種拉式系統。拉式系統的廣泛定義是：

- **拉式系統**：當庫存受限於某方式的情況下，使用的一種（拉式）排程系統。[以某方式限制庫存量的情況下，使用的一種排程系統。]

(Pull System – A scheduling system where inventory is limited in some way)

[註：庫存可能是原物料，在製品，成品等等。]

大多經營模式並未強制限制庫存數量。在沒有限制的情況下，在任何時間點的庫存數量與庫存所在的位置都相當隨意，並傾向隨時間而增加。這被視為一種推式系統（Push System），定義為：

- **推式系統**：當不正式限制庫存的情況下，使用的一種（推式）排程系統。

(Push System – A scheduling system where inventory is not formally limited)

### 如何落實推式系統呢？

自年少起，我們就被教導一些基本的工作觀念，像是：

- 努力工作
- 趕快
- 超前

在經營管理上常見的績效考核與獎勵都是支撐這些觀念，典型的員工與部門都有『每天幾個、每人幾個、符合計畫時程等』的績效考核及獎勵。

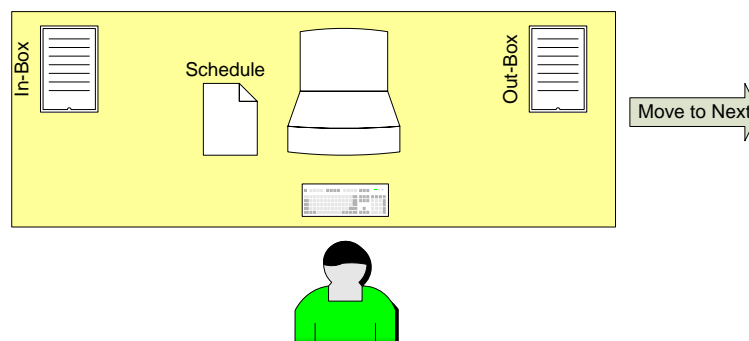


Figure 1

觀察一個典型的業務情境（上面的圖一，Figure 1），一位工作人員在電腦前工作，並被給予一份哪些資料在何時應該完成輸入的工作時間表。資料到達他的桌上，進到『收件箱（In-Box）』。這位工作人員看看工作時間表，從收件箱拿出下一份需輸入的資料，用電腦

完成資料輸入，然後將資料放到『結束箱（Out-Box）』。一段時間後，他會站起來將結束箱中的資料拿到下一個處理步驟的收件箱。

每一週，他的主管會檢查完成的件數，看看是否依照工作時間表完成工作。假如不符合工作目標，主管追蹤工作人員後續的修正行動。

根據上述的績效考核到位的情況，而工作人員的注意力落在『努力工作、趕快、超前』，工作人員保持忙碌的狀態。一旦輸完的資料放入結束箱，就從收件箱拿出下一份資料開始工作。如果時間表上的下一份不在收件箱，就拿其他後面才得輸入的資料去做。

### 推式有什麼問題呢？

有兩個假設常見於營運管理：

1. 我們的業務操作是各自獨立的。改變一個操作很少會對其他操作造成不利的影響。
2. 我們的業務操作具有相加的效果。要知道業務的表現情況，就看每個工作的操作效果，基本上將這些操作加總即可。要想改進績效與獲利，要求每個操作盡可能發揮效率，一個操作的改善就會改進公司的利潤。

根據這些假設，我們使用某種方式來管理業務。我們試圖使每個部門、區塊、個別程序最佳化，認為這樣做會使績效與獲利最大化。因而經常是各個操作個別排時間表 – 如果他們全都遵守個別的時間表，就能符合整個時程。我們並且加上對每個操作的績效考核，以能知道操作是否『具有效率』。

這裡的問題是，這些假設不正確！下列的原則取代上述的錯誤假設：

1. 我們的業務操作是具相依性的（Our business processes are dependent）。改變其中的一個操作，會對某些或全部的其他操作造成某種影響。
2. 我們的業務操作不具加總的效果（Our business processes are not additive）。單獨改善一個操作通常不會對業務的整體績效或獲利情況造成良性的作用。事實上，根據上面第一項原則，有可能某個部分的改善，卻造成整個系統表現的退步。

看看下列的例子。

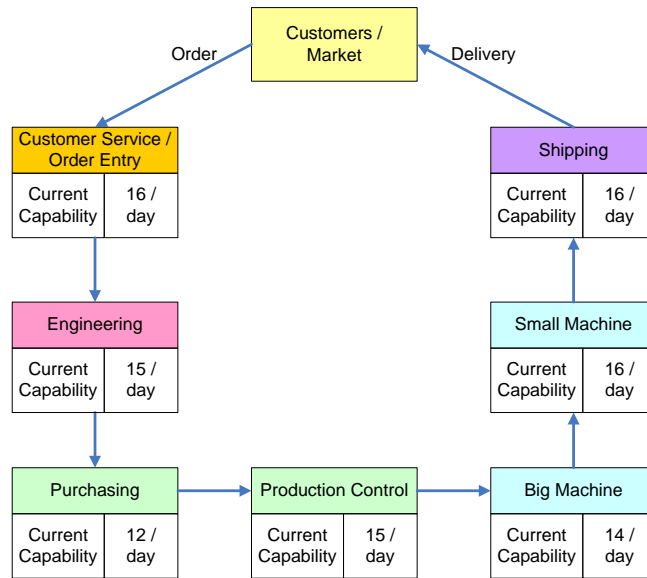


Figure 2

圖二 (Figure 2) 的圖形呈現一個『業務循環』。每個業務有一系列程序，最後連結成一個整體的業務循環。每個業務筐內的名稱與機能都不一樣，但是大體的概念總是相同的。

假如『工程 (Engineering)』筐代表上面描述之推式系統中的工作人員，要符合每天 15 個工作的目標，且準確遵照排程來工作，以整體業務循環來看，每天能完成多少個？答案是 12 個工作。在這整個循環中，工作進行的速度最快取決於最慢的業務程序，目前是採購 (Purchasing) 每天 12 個工作。那麼另外三個工作到哪裡去了呢？在採購筐前面等待。對於前置時間會有何影響呢？

- 前置時間 = 在製品數量/數率 [ $LT = WIP / Rate$ ]，在製品數量上升，而數率保持不變，因此前置時間拉長！前置時間拉長是不好的結果嗎？絕對不好。

每次 MEP 社群的精實生產的簡報都引用下列亨利福特的名言：

『維持福特產品低價的努力中，有一項最值得注意的成就之一是，逐步縮短生產的週期。一個物件在製造過程中越久，被移來移去的次數越多，最後的成本就越高。』

亨利福特所說得重點是，前置時間越長，成本越高，即是下列的公式：

- 前置時間 = 成本 [ $Lead-Time = Cost$ ]

這個公式是精實生產的精髓，專注於消除沒價值的附加活動。一般而言，產品前置時間的 95%+ 是沒價值的附加時間 (non-value-added time)。因此，如果我們投入降低前置時間，本質上會降低沒價值的附加時間，成為『較精實 (Leaner)』。

回到前面的工程師例子，在年底主管對他符合產出與排程的表現很高興，他獲得加薪。接下來的挑戰是，提升他每天的產出從 15 個到 17 個工作。主管認為有其必要性，因為所有的主管都被大老闆要求改進今年的效率。

透過許多分析工作，超時加班及辛苦工作，這位工程師改進他的電腦程式，這樣一來能每天產出 17 個工作。這時，其他部門在改進上卻不怎麼成功，事實上，採購還是一天 12 個工作。

對於整體業務產出，工程部的改善有什麼作用呢？

- 前置時間 = 在製品數量/數率 [LT = WIP / Rate]，在製品數量增加，數率還是一樣。因此，前置時間拉長！
- 前置時間 = 成本，前置時間拉長，因而，成本增加！

等一下，到底發生什麼了。工程改善了，但成本增加！為何如此？

回到那兩個原則，我們的程序不是獨立的（Our processes are not independent），工程部的改變影響到我們系統中的其他程序。同時，我們的程序不具加總的效果（our processes are not additive），所以工程部的改善並未提升整體利潤。

因此，這些原則表示什麼呢？

1. 我們必須管理整體系統，才能使經營最佳化。
2. 一般而言，在考量系統限制下，一個程序會限制系統的有效性。藉由改善該系統限制，我們能提升整體系統的表現。而其他程序必須搭配系統限制的運作需求。
3. 藉由降低在製品，我們能改善前置時間及成本，只要不使系統限制閒置。

取代製造更多不需要的東西，工程師是不是該只產出採購需要的數量，而用多餘的時間去協助採購的工作呢？

為何降低前置時間會降低成本呢？

這並非一般我們看待成本的方式。事實上，當今 95% 企業使用的成本會計系統沒有如此的呈現。這些在 1900 年代早期開發的系統，營運方式與今日的方式相當不同，根據勞工及/或材料分攤經常費用。在傳統成本會計上，只有當勞工及/或材料被用於製造產品的時間，才累計工作的成本。這是典型之加工價值的步驟，佔整個前置時間的 5%。而步驟間的時間是沒做加工的事情，成本會計系統將之被視為『free（沒費用）』。

整個營業週期的前置時間，其累計之產品成本圖（Figure 3）如下（傳統成本會計的呈現）：

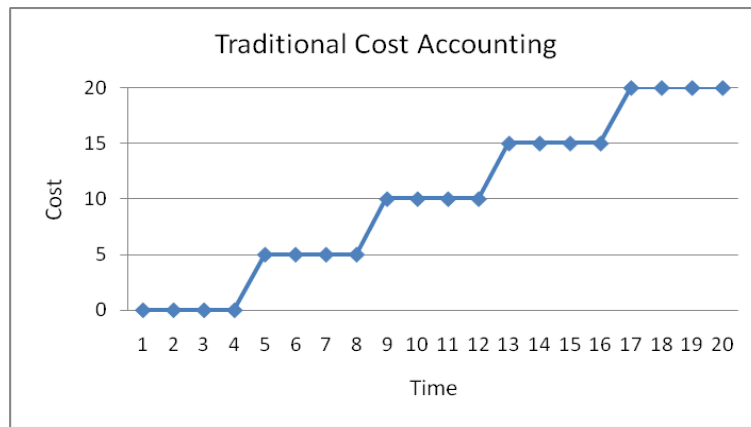


Figure 3

然而，應用亨利福特的前置時間等於成本的道理，產生之圖形（Figure 4）如下（精實成本會計的呈現）：

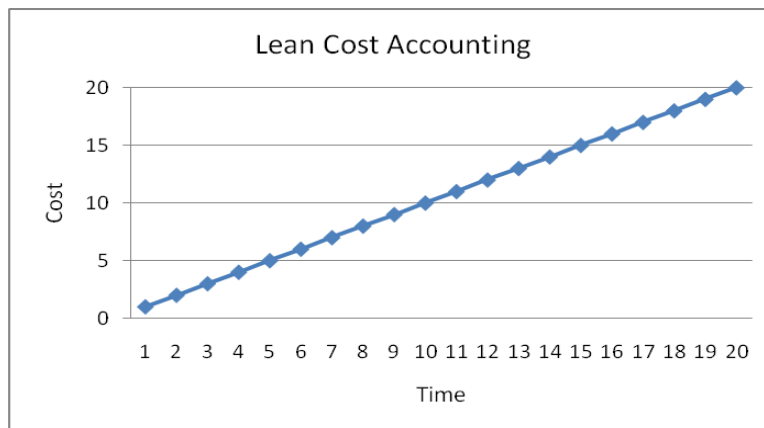


Figure 4

高德拉特，限制理論（Theory of Constraints）的創始人，曾說過：

『告訴我你會如何考核我，我就告訴你我會如何表現。』

假如我們的績效衡量制度會影響我們的行為表現，傳統的成本會計造成什麼行為模式呢？取代專注於整體的前置時間，傳統成本會計使我們將注意力放到一小部分的時間，就是使用勞力與材料於製造產品的時段。

降低作業的前置時間有很多利益難以在此一一列出。Insyte 顧問公司是位於美國紐約州水牛城的 MEP 中心，在他們的網頁上有一份列出 31 項縮短前置時間的利益（網址：



<http://www.insyte-consulting.com/Home/Resources/Tools/BenefitsofReducingLead-Time>)。這些利益大致分爲六類：

1. 增加銷售 (Increased sales)
2. 改善品質 (Improved quality)
3. 降低營運成本 (Reduced operating costs)
4. 增加產能與有效產出 (Increased capacity and throughput)
5. 降低投資的資財 (Reduced invested assets)
6. 增加員工的滿意度 (Increased employee satisfaction (精神/心理上 morale))

以製造公司的一個生產工作中心爲例，該生產中心位於整個產品製造路徑的一半位置，假如說該中心有一個月的在製品數量，價值是 100,000 元，放在該中心前面等待 (見下圖，Figure 5)。

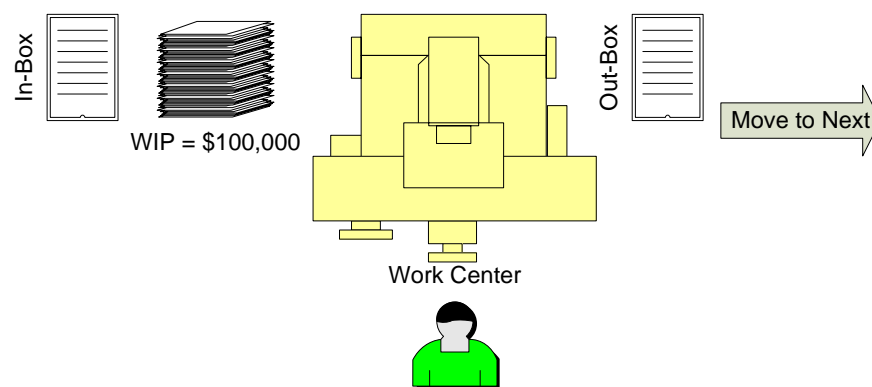


Figure 5

根據傳統成本會計系統，對公司而言這些在製品並無花費。事實上，在資產負債表上被列爲財產。同時，假如總計任何一年的在製品，在製品增加在會計的損益表上，則顯得公司獲利更多。

根據精實成本會計 (Lean Cost Accounting)，更正確的看法是，這些在製品花用公司的金錢，爲何如此？幾項理由列舉如下：

- 資金的成本 (Cost of capital) – 一家典型公司有信用貸款和/或希望租借或購買設備。假如 1000,000 元沒壓在那裡，公司能用這筆錢以降低信用貸款的額度，或投資新設備或其他財產。
- 空間的成本 (Cost of space) – 價值一個月的在製品需要放置空間。製造商需要投入金錢方有空間，還有與暖氣、冷氣與照明相關的費用。

- 處理的成本（**Cost of handling**） – 在這個月中，這些在製品等待加工，通常需要搬動、存放、排列、分開、綜合等等許多次的作業。相關的成本不只是勞工，還有可能的產品損壞及潛在的人工受傷。
- 品質的成本（**Cost of quality**） – 假如我們發現在製品中有異常情況，有多少不良品呢？可能全都不良！這樣就必須重工或丟棄及重做。由於之前的製造步驟是一個月或更久之前發生的，我們會去找出問題的根本原因，及採用有效修正的變更作法的可能性低。
- 流失有效產出（**Lost throughput**） – 到處都有隨意置放的在製品會掩蓋最慢的作業程序。不知最慢的程序何在，無法有效專注，則流失系統整體的有效產出。
- 喪失銷售機會（**Lost sales opportunities**） – 許多顧客訂單是視供應商的前置時間而定。一般而言，顧客是差勁的規劃者，因為前置時間=在製品數量/數率，供應商的在製品時間會拉長前置時間，這樣就可能時間太長而喪失銷售機會。
- 降低準時交付（**Reduced on-time delivery**） – 製造時間越長，越難準時交付。還有顧客很可能改變設計、數量、交期等，而增加無法準時交付的可能性。

完整的精實或 TOC 成本會計是超出本文的範圍。然而，一般做出營運上好決策的好規則是，專注於考量決策在現金定位及現金流（**cash position and cash flow**）對增值利益（**accrual accounting profit**）的效應。改進整體現金定位及/或現金流的決策，最後能改善營業成效。評量實踐任和改善方案的成效也可使用這個方法。

### 上述種種與拉式系統有何關係？

有許多事情會造成長製造前置時間。不過，80/20 法則建議系統中少數的政策造成大多數整體之前置時間。在我的經驗中，最容易改善前置時間，又能產生大效果的是：

- 排程系統（**Scheduling systems**）
- 批量大小（**Batch sizing**）

拉式系統針對這兩項，使用幾個相當簡單的技巧，能很快降低 50%或更多的前置時間。

許多精實實踐者認為拉式系統是高等技巧，在整個精實的實施中到後面才用上（如果有用上的話）。TOC 實踐者認為拉式系統是基礎的步驟，通常在導入改善方案先期便採用。假如前置時間是主要的標的，而拉式系統的主要貢獻是處理長前置時間，那麼前置時間的改善工作，則該以應用拉式系統為起點。

你會發現，一旦導入拉式系統，你的前置時間會降低，系統中其他的關鍵問題會更顯而易見，更難忍受，但更容易入手處理。你也會有工具能將有限的改善資源，投到能造成效果的方案，而不被浪費於無（或者負）投資報酬之處。

## 拉式系統的類別 (Types of Pull Systems)

有許多能用來實踐拉式運作的可能技巧，再次，我們的定義是：

**拉式系統** -- 一套排程系統，其中庫存受某種方式所限制。

( Pull System – A scheduling system where inventory is limited in some way )

註：庫存含原物料、在製品、成品 ( raw materials, WIP, finished goods ) 等。

根據我們的定義，任何技巧能正規地限制庫存，則能造成拉式操作。儘管如此，大多的技巧大致上可歸入下列的主要拉式方法：

- 超級市場補貨 ( Supermarket Replenishment )
- 設限的先進先出動線 ( Capped FIFO Lanes )
- 鼓-緩衝-繩 ( Drum Buffer Rope )
- 在製品限制 ( WIP Cap )

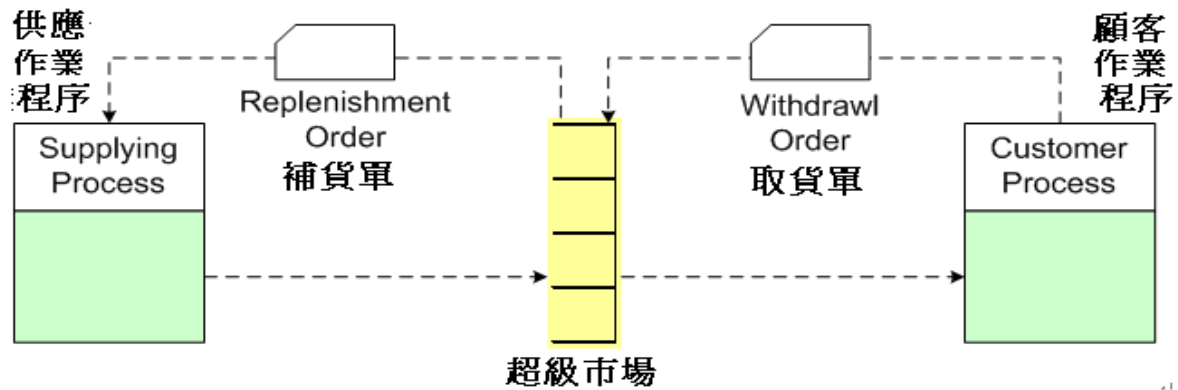
本章將回顧每個作法及適合的應用。

### 超級市場補貨 ( Supermarket Replenishment )

如我們所見，傳統的製造排程系統要求大量的庫存資金。當豐田在第二次世界大戰後重建時，他們現金很少，無法依照傳統的製造方式投入庫存。他們觀察並提出：『什麼產業最善於運用庫存？』答案是，超級市場！

今天，以典型的超級市場來看，他們的庫存轉數每年超過 50 次。使用推式系統 ( Push system ) 的典型製造商每年的庫存轉數超過 1-10 次。使用拉式系統及其他精實 ( Lean ) 製造技巧，豐田的製造環境中能達每年 50-100 的庫存轉數。

我們來看超級市場補貨系統的運作。



圖六

圖六呈現一個基本的超級市場補貨系統，過程如下：

- 顧客作業程序從超級市場的貨品展示架上取得所要的產品。
- 每個物品號都設定一個數量為再訂購點。只要是庫存量加上已發出之訂貨量，低於設定的數量，則發出一張新的訂單給供應作業程序。一個容器（container）、看板卡（kanban card），燈誌信號，清空的空間等等，皆能用於代表需要訂購（紙張訂單不必然需要 – 簡單來看，就是『清空了，補足它』）。
- 每個物品號都有一個再訂購數量（re-order quantity），新訂單的數量等於某個物品號的再訂購數量。
- 供應作業程序完成該訂單。
- 購得的物品擺上超級市場的展示架。

在此例子中，只有顧客作業程序能設計一套正式的訂購運作方式。供應作業程序受帶動而自動發生，這是拉式系統非常重要的部分。不管一個拉式系統中有多少程序，只有一個排程點（one scheduling point）！

**單一計畫點（Single Schedule Point）** – 在拉式系統中，於某個單一程序獨立計畫整個拉式系統，而所有其他的程序由拉式系統自行計畫。（Single Schedule Point – Single process in a Pull System where the entire Pull System will be independently scheduled. All other processes are scheduled by the Pull System itself.）

想想相較於分別計畫系統中的每個程序，這是多簡單與有效用。大多數公司試圖不是手動計畫每個程序，就是使用傳統的 MRP/ERP 系統。

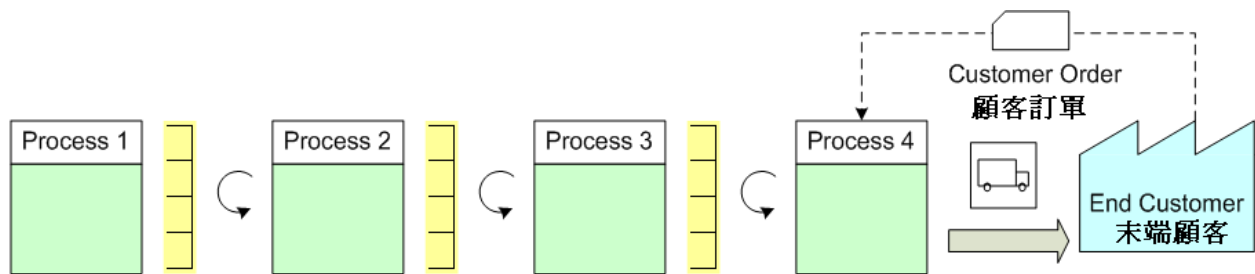
下面的變數會影響到，計算系統中每個物品號的再訂購點（Re-Order Point）和整體潛在的庫存（Total Potential Inventory）：

- 一段時期的平均需求量（Average Demand per period）
- 一段時期的需求變化性（Variability in Demand per period）
- 從發出一張訂單給供應作業程序，直到完成該訂單，即是貨品補回超級市場的展示架之前置時間（Lead-time from when an order is released to the Supplying Process until the completed order is received at the Supermarket Shelf）
- 再訂購數量（Re-Order Quantity）
- 服務程度（Service Level），是超級市場希望在多少時間比率上，展示架上至少有某些產品，可進行顧客作業程序。註：因刻意設計，絕不是 100%，由於費用太高或統計上就是不可能。

上述任何一項的增加會使的系統的整體潛在庫存提高。

當使用這套系統時，在超市架上的庫存很少等於整體潛在的庫存，其中包含拿走而不達再訂購數量，等待供應端處理的訂單，供應端處理中的訂單，及供應端送出在運送途中的訂單。在一個設計良好的系統中，超市架上的實際平均庫存經常是整體潛在庫存的 10-50%。

多重超市能使用拉式系統，如同數個作業程序：



圖七

這個例子中的各個超市都是獨立的，如圖六所示的運作方式。單一計畫點（Single Schedule Point）在此系統中是在程序四（Process 4）。一個簡單的方式來決定這個位置是：

單一計畫點的位置就在整個拉式系統中，緊接在最後一家超市之後的程序。（The Single Schedule Point Location will be located at the process immediately after the last Supermarket in the entire Pull System.）

所以，如果你比對每個拉式系統中接續的作業步驟，從收到原物料和資訊，到將產品交給顧客，在超級市場的情況，下一個作業程序就是單一計畫點。這指出有多種方法我們能用於單一的拉式系統，這是正確的。事實上，超級市場補貨方式通常是最不想要使用的拉式作法。

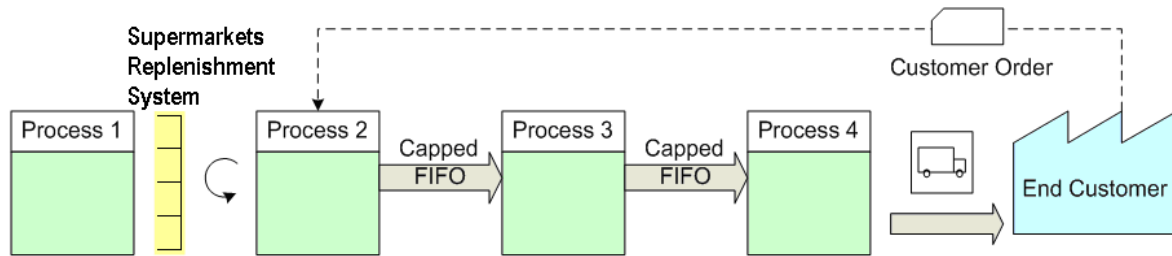
當顧客作業程序需要能選擇多樣物品號時，採用超級市場補貨技巧。假如顧客作業程序是個人電腦的組裝程序，這家公司按訂單組裝個人電腦。在收到訂單之前，組裝工作無法知道顧客想要的配件

選擇。因此，超市建立庫存，持有每種想賣的物品，可能有四種不同的音效卡。在此例中，為每張不同的音效卡需要建立一個特殊的超市補貨系統。

## II. 拉式系統的類別 (Types of Pull Systems)

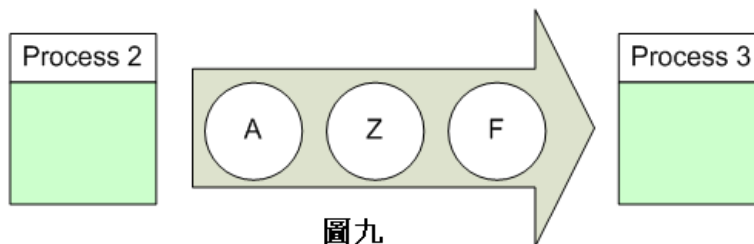
### 設限的先進先出動線 (Capped FIFO Lanes)

顧客操作的程序不需多種選擇時，除了超市 (Supermarket) 以外的方式來看，先進先出動線 (FIFO Lane, First In First Out) 是更好的方式。



圖八

圖八呈現一種拉式系統，連結超市的補貨系統 (Supermarket Replenishment System) 與設限的先進先出動線。單一計畫點 (Single Schedule Point) 的位置在程序二 (process 2)，因為這個程序在系統中超市位置的後面。在程序二與三之間是一種設限的先進先出動線。最易想像的設限先進先出動線的樣子是，網球通過一條管子。



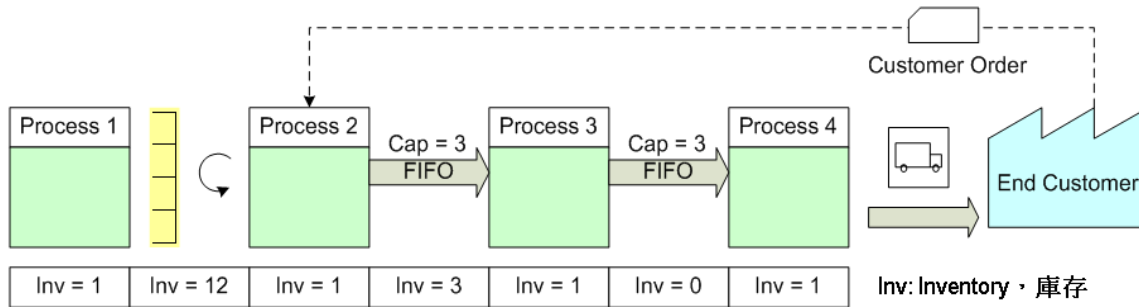
圖九

管子的直徑比網球的直徑稍大些。網球能順利地通過管子，而無法改變一個個網球通過的順序。實質上，沒有『超車線』。同時管子的長度是固定的，所以在一個時間點，只有三個球能進入管子。

程序三 (process 3) 接著做哪一個呢？沒有選擇，就是 F 產品！因此程序三不需要獨立的工作計畫，其工作由拉式系統來指定。在圖八的程序四 (process 4) 也是相同的道理。

如果程序二完成手上的工作，同時 FIFO 動線也滿了，它要怎麼辦呢？程序二會停止工作！這個信號告訴程序二，目前它比系統的其他部分工作速度快。我們前面提過為什麼，在這樣的情況下不要程序二繼續工作的道理。相同地，如果程序三要從 FIFO 動線取得下一個工作時，動線上沒工作的話，怎麼辦呢？程序三停止工作！

這樣的系統清楚呈現，在任何一個時間點上，那個程序是此系統最慢的程序。



圖十呈現每個區塊目前的庫存情況。那個程序是目前最慢的呢？程序三目前是最慢的。稱為系統目前的限制（constraint）。能輕鬆指出限制在那裡，就在 FIFO 動線的上游與下游數量比率最大的地方。更簡單來看，最慢的程序通常在最大的 WIP 堆積之後，我喜歡稱之為『堆積管理（Management by Piles）』。

如果想要對系統的產出有立即的影響，應該將能量投入何處呢？需要專注於系統限制！如果使用拉式系統，監視觀察系統以利決定限制所在之處，進而將資源投入該處，即能持續改善系統產出和整體的系統表現。

由於所有非限制在某些時間會沒工作，所以也需要決定要這些資源在那些時間做什麼事情。

在這個例子中，假如每個工作站限定一次只做一個產品或一個工作，而 FIFO 動線限定一次只能有三個產品，同時這個系統一天完成一個產品，那麼一張只要一個產品的顧客訂單需要多少前置時間（Lead Time, LT）才能完成？

$$\text{製造時間} = \text{WIP} / \text{比率} = (1+3+1+3+1) / (1/\text{每天}) = 9 \text{ 天}$$

$$[\text{Manufacturing LT} = \text{WIP} / \text{Rate} = (1+3+1+3+1)/(1 \text{ per day}) = 9 \text{ days}]$$

單一計畫點究竟在哪裡，它很有可能（通常樂意如此）是某些未開工的訂單數量定期性地排隊等待系統。我喜歡稱為『On Deck』，就像棒球的 On-Deck box [下一個上場打球的選手等待的地方]。

On-Deck: 在一種拉式系統，訂單等待被開始處理。（On-Deck – Orders waiting to be started in a Pull System）

假如有顧客訂單含兩個產品在等待，顧客的訂單前置時間總共多久呢？

$$\text{整體前置時間} = \text{On-Deck 前置時間} + \text{製造前置時間} = (2/1) + (9) = 11 \text{ 天}$$



$$[\text{Total LT} = (\text{On-Deck LT}) + (\text{Manufacturing LT}) = (2/1) + (9) = 11 \text{ days}]$$

因為我們限制拉式系統中的庫存數量，如此一來前置時間之預測就相當一致。這樣對瞭解改善準時達交表現，或為準時交付給顧客所需投入的努力很有幫助。

注意了，與顧客訂單有關的製造前置時間從程序二開始。這個前置時間總是從單一計畫點的位置開始。程序一前置時間對末端顧客的前置時間沒有影響，因為程序二可能需要的所有元件已到位，置於程序一與二之間的超市系統。

為什麼 FIFO 動線在此情境比超市方式更有用呢？因為 FIFO 動線：

- 包含較少的庫存（Contain less inventory）。
- 減低風險（Decrease risk）。
- 簡化排程（Simplify scheduling）。
- 凸顯目前的限制（Highlight the current Constraint）。
- 創造帶動系統的流動節奏（Create a sense of Flow that drives the system）。

設限的先進先出動線（Capped FIFO Lanes）在下列情況下表現很好：

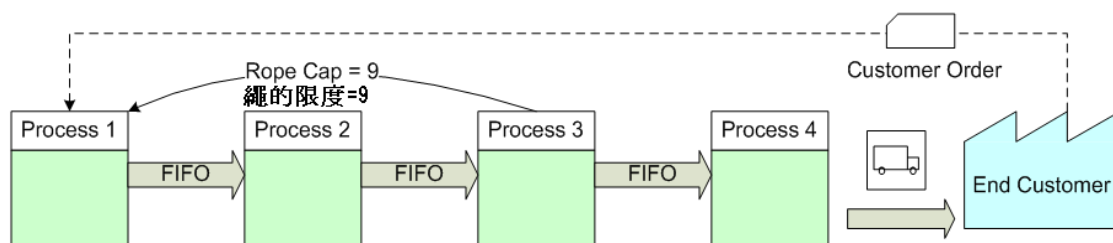
- 高產出數量（Output volume is high）。
- 對合適的零件類，其程序動線始終如一（Process routings are consistent for the applicable family of parts）。

實施設限的 FIFO 動線，必須決定下列的特性：

- 移動批量大小（Transfer batch sizes）。
- 每個程序之先進先出動線的限量（FIFO Lane Caps at each process）。
- 視覺控管以指出限量的狀態（Visual controls to indicate cap status）。

### 鼓 緩衝繩（Drum Buffer Rope）

鼓 緩衝繩（Drum Buffer Rope，DBR）的是拉式系統的原型，為限制理論（Theory of Constraints，TOC）應用的一部份。與設限的 FIFO 動線系統有雷同的操作概念。



圖十一

在單一計畫點與系統限制（資源）之間，有一個整體的最高限度。每次該限制完成一個工作，單一計畫點則釋出一個工作給系統。這個限度是『繩（Rope）』。由於該限制支配系統的步調，這是『鼓（Drum）』。設計最高限度以使系統限制總是有工作等著它去做，這是『緩衝（Buffer）』，必須確保系統限制（資源）總是忙碌。

注意了，FIFO 動線的下游從系統限制（資源）以下都沒設限。這系統中不需要設限，因為下游程序都比該限制速度快。在這部分的動線上 WIP 應該絕不會累積。

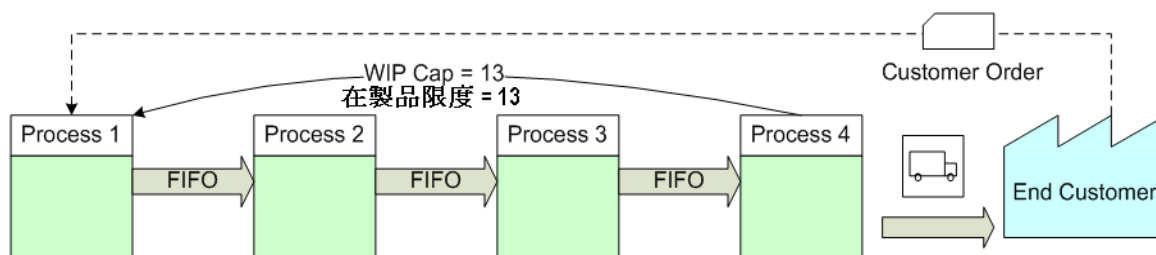
爲了使用 DBR，系統限制必須位於相同的程序（或資源）。很多系統顯然是這樣的情形。實施 TOC 中，我們策略性地決定系統限制的所在，及實行政策以確定它留在原處。從財務的角度來看，當系統限制落在最昂貴的資財上，總是想要使投資報酬率最佳化。我常稱此爲『大機器（Big Machine）』。

股緩衝繩提供某些優於設限 FIFO 動線系統的功用：

- 在非系統限制（資源）上的干擾，變動等情況，較不可能使系統限制沒事做，而侷限了有效產出。這樣的系統更能容忍程序變化造成的正常的起落現象及產品組合的改變。
- 只有一個程序（或資源）需要遵守相關的排程規則。單一計畫點之程序不可能投入新訂單，除非系統限制批准（能是一張簡單的卡單（card），籌碼（chip），容器(container)等等）。只要有工作，所有其他的程序就執行。在一種設限的 FIFO 動線系統，必須監控每個程序，並且每個程序必須遵守下游 FIFO 動線的最高限度。

### 在製品限度（WIP Cap）

在製品之最高限度的拉式系統與鼓緩衝繩系統相似，除了限度延伸到系統的最後一個程序，而非到系統限制爲止。TOC 實踐者經常稱此法爲『簡易之鼓緩衝繩（Simplified Drum Buffer Rope, SDBR）』。我通常認爲這種拉式作法最容易操作，與其他方法相比更有效能。



圖十二

在製品限度系統（WIP Cap system）提供一些優於 DBR 與設限 FIFO 動線系統的功用：

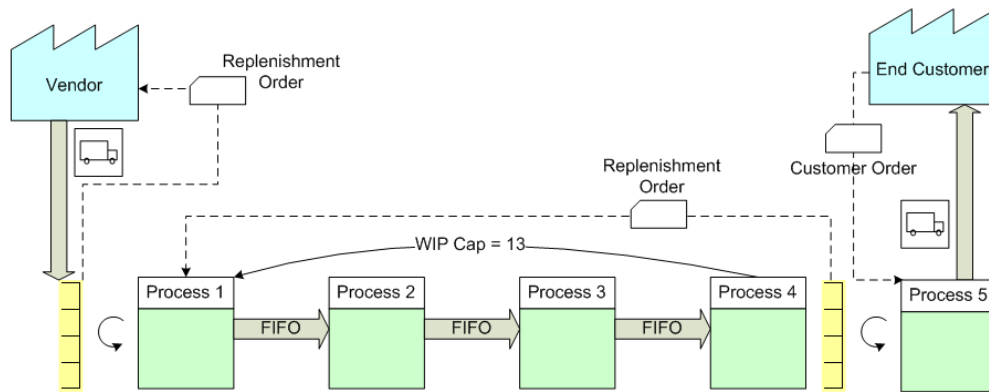
- 在非系統限制上的干擾，變動等，不可能使系統限制沒事做，不使有效產出受限。

- 只有一個程序（或資源）需要遵守相關的排程規則。
- 不必要有一個固定的系統限制。
- 容易指出目前之系統限制。相較於設限的 FIFO 動線，此系統減少『不正確的解讀』。
- 實施簡單。事實上，經常開始的方式是，就以當前的情況設定 WIP 限度，然後用方法逐步降低。這會避免大部分受實施改善影響的人員提出藉口的情況。

我認為對大多數進行中的應用構面而言，在製品限度的方式是最佳的拉式系統。非常有效用，容易準備也容易維護。假如你有興趣瞭解細節，可參考我所書寫的相關內容。

### 綜合拉式系統（Combination Pull Systems）

大多數價值流包含兩種或更多的拉式系統。一般而言，最少一種超市系統用於原物料及/或成品部分。WIP 通常受到設限 FIFO 動線系統，鼓緩衝繩，或 WIP 限度系統的控制。



圖十三

圖十三呈現一種典型的綜合拉式系統，其中組合許多我們提過的概念。這樣的系統簡易地排程與控管工作進度，從訂購原料到交付成品。

### III. 實施拉式系統(Implementing Pull Systems)

僅僅是限制庫存需求的作法不足以啟動拉式系統。我的經驗是人們不會維持拉式的運作，除非建立一套正式的系統，不然難以落實拉式的運作方式。雖然相關的概念不難理解，但是卻與一般的直覺背道而馳。在改變過程中遭遇困難或情況發生變化時，自然的反應傾向於走回頭路，回到原來熟悉的作法。

同時，需要細心地設計拉式系統，以達最大效能。此外，只要數量、產品組合或其他關鍵變數有顯著變化時，則需要調整拉式系統，或甚至重新設計。

要如何梳理當前情況，並開發及成功實施一套拉式系統呢？有很多的作法，最容易的地方是從價值流程圖的解析（Value Stream Mapping）開始。

#### 價值流程圖解（Value Stream Mapping）

這個高層次的流程圖解方式專注於指出無加值的時間（the Non-Value-Added time），產品在生產系統中停留，花費無加值結果的時間。由於在典型情況是前置時間的 95% 以上是無加值時間，價值流程圖解析方法能有效指出實施拉式系統，與縮短前置時間的機會。

一種典型的作法是選擇一個產品或一種產品進行圖解。如果選擇一個種類的產品，這個種類的產品應該使用同類型的資源（機器，車間，員工等），或未來能使用同類型的資源。接著選擇流程圖的起點與終點，經常是從接到訂單到送交產品為止。然而，在一開始實施拉式系統，經常觀察價值流的一部份，例如一個部門。

建構價值流程圖從起點到終點，都使用一套標準的標誌說明，及視覺上的描述。註 - 本文中大多圖形使用標準的價值流程圖的標誌。

一旦現況價值流圖（the Current State Map），應用一系列的步驟來建構一張未來價值流圖（a Future State Map），這張圖描述一個近程的未來系統。未來價值流圖上加有一些改善的缺口（Kaizen Bursts），這是要能從現況轉成未來的重要改善之處。

價值流程圖法的完整描述超出本文範圍。The Lean Enterprise Institute (LEI) 有相當詳細的手冊，名稱是『Learning to See』。

#### 實施拉式系統之額外備註：

1. **從學習開始** - 拉式系統是反直覺的，跟我們熟悉的想法不同。在選定的改善區塊，初期你需要與公司的關鍵領導者及管理者，開發使用該作法與利益的基本理解及共識。

2. **從小區塊開始** - 選擇能夠建置一個超市/或有限制在製品的區塊。仔細地盤算前置時間與績效的改善方案。透過這個區塊的改善過程進一步學習，並宣傳成功案例。一旦這個區塊的系統能自己運轉，則實施另一個區塊。
3. **保守地設定初始的庫存限度（高）** - 有利於組織建立信心。隨著時間，層層改善直到最終的目標。
4. **設立待命的支援團隊** - 發生在系統中的問題，是人為的！這就是改善的機會。假如沒有資源去協助系統中工作的人員，他們會回歸到老方法。同時，假如沒正確的實施，讓改善成效顯然可見，會導致錯失拉式系統半數以上的利益。
5. **事先決定沒工作時，員工要做什麼** - 只有一個資源能是限制資源（the Constraint），而其他資源有時會沒工作做。在這樣的情況發生前，先想好到時員工該做什麼事。多種職能訓練與彈性派工方式就可減緩這個問題。

#### IV. 結語 (In Conclusion)

拉式排程系統 (Pull Scheduling Systems) 能大幅且快速地改善公司的績效，能有利於促進長期的持續改善。然而，這些系統與本能的直覺相反，並未被大多數管理人與重要決策者充分理解。實施這些拉式系統並不困難，但是需要仔細規劃實行的作法、培訓及持續學習的毅力。

秉持持續改善的精神，希望能得到讀者對本文的寶貴意見，作者希望能根據自己的實務經驗與讀者的回饋，持續修改本文的內容。

附錄 A – 拉式系統比較表 (Appendix)

	超級市場補貨 (Supermarket Replenishment)	設限的先進先出 動線 (Capped FIFO Lanes)	鼓-緩衝繩 (Drum Buffer Rope)	在製品限度 (WIP Cap)
提供選擇 – 適合於當顧客之作業程序需要選擇多種產品	是	不	不	不
相對的庫存程度	高	中等	中等/低	低
過時庫存的相對風險	中等	低	低	低
排程的難度	中等	低	低	低
支持單點排程	是	是	是	是
快速與正確指出當前限制的有效性	低	中等	中等	高
提升系統流暢度的創造力	低	高	高	高
非系統限制上的干擾會使限制沒事做的可能性	高	高	低	中等
幾個程序必須遵守排程規則	全部	全部	一個	一個
需要一個固定的限制	不	不	是	不
最適合的應用	有選擇性及/或顧客的前置時間需要一個存放點	控制 WIP，在大量重複性的製造情形	控制 WIP，在知道定點的系統限制的情況	控制 WIP，在多種多樣的應用情況

專門術語與概念之詞彙表 (Glossary of Terms and Concepts)

Terms	術語	概念	Concepts
Average Demand per period	一段期間的平均需求值	一段時間內的平均顧客需求值 (通常是一天或一週)。	Average customer demand per a period of time (usually a day or a week).
Buffer	緩衝	在一個限制資源前，排隊等待的工作。緩衝是有必要的，以防止限制資源無事可做，而降低有效產出。	Work waiting in queue in front of a Constraint. A buffer is necessary to keep the constraint from starving for work, which will reduce throughput.
Business processes are Dependent	業務程序的相依性質	改變一個程序會在某程度上，影響某些或其他部份的程序。	A change in one process will tend to affect some or all of the other processes in some way.
Business processes are not additive	業務程序不是加總性質	改善一個程序通常不會正面地影響營業的整體表現及獲利能力。事實上，根據業務程序是相依性的原則，可察覺到常常一個區塊的改善，會降低系統的整體表現。	An improvement to one process will usually not affect the overall performance and profitability of a business in a positive way. In fact, based on the <i>Business processes are Dependent</i> principle, what is perceived to be an improvement in one area will often reduce the overall performance of the system.
Capped FIFO Lanes	有限制的先進先出動線	一種拉式方法，於工序間以先進先出的作業順序，來限制在製品的數量。	A Pull method that limits WIP between processes with a processing sequence of First-In-First-Out.
Constraint	限制	一個資源或一個政策限制一個系統的產出。	A resource or a policy that limits the output of a system.
Cost Formulas	成本公式	前置時間=成本=在製品/速率。這表示必須降低在製品，以降低前置時間及成本。	Lead-Time = Cost = WIP / Rate This implies that you must reduce WIP to reduce lead-time and cost.
Customer Lead-time (LT)	顧客前置時間	從收到訂單到送交產品的總時間。	The amount of time from order receipt until product delivery.
Customer Process	顧客程序	一個拉式系統的下流程程序。	Downstream process in a Pull System.
Direction of	資訊流的方向	在一個推式系統中，在	In a Push System,



Information Flow		整個價值流的資訊與產品流的方向相同。在一個拉式系統中，在整個價值流的資訊與產品流的方向相反。	information and products flow in the same direction through the Value Stream. In a Pull System, information and products flow in opposite directions through the Value Stream.
Drum	鼓	在鼓緩衝繩的拉式系統中的限制程序，它提供系統中所有其他程序遵循的節奏或步調。	The Constraint process in a Drum Buffer Rope Pull System. Provides the cadence or pace which all other processes in the system follow.
Drum Buffer Rope	鼓 緩衝繩	一種拉式方法，限制系統中之系統限制（鼓）與第一個程序間的在製品（繩）數量，並設計成總是有些在製品（緩衝）等在系統限制程序之前。	A Pull method that limits WIP (Rope) between the Constraint (Drum) and the first process in the system. Is designed so that there is always some WIP (Buffer) waiting before the Constraint process.
FIFO Lane	先進先出的動線	先進先出的作業順序規則。	Processing sequence rule of First-In-First-Out.
Flow	流動	在價值流程上，持續向前移動的產品作業程序。	Processing state where products move continuously forward in the Value Stream.
Kanban card	看板卡	卡、片、容器或其他用具，用於一個拉式系統，以授權資源開工。	Card, chip, container, or other device used in a Pull System to authorize a resource to do work.
Lead-time reduction benefits	縮短前置時間的利益	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 增加銷售</li> <li>2. 改善品質</li> <li>3. 降低營運成本提升產能及有效產出</li> <li>4. 降低投資資產</li> <li>5. 增加員工的滿意度（士氣）</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>6. Increased sales</li> <li>7. Improved quality</li> <li>8. Reduced operating costs</li> <li>9. Increased capacity and throughput</li> <li>10. Reduced invested assets</li> <li>11. Increased employee satisfaction (morale)</li> </ol>
Lean Cost Accounting	精實成本會計	成本會計、衡量與決策方法支撐及與精實生產一致，一般傾向縮短前置時間及改善現金流的決策。	Cost accounting, measurement, and decision methods that support and align with Lean Manufacturing. Will generally favor decisions that reduce lead-time and improve cash flow.

Little's Law	利特爾法則	前置時間=在製品/速率	Lead-Time = WIP / Rate
Manufacturing Lead-time (LT)	製造前置時間	從釋出訂單到製造，直到完成產品及可送交的總時間。	The amount of time from release of order to manufacturing until product is completed and ready for delivery.
On-Deck	預備區	一個拉式系統中等待開工的訂單。	Orders waiting to be started in a Pull System.
Pull System	拉式系統	一個排程系統中，以某種方式限制庫存數量。註：庫存可以是原物料、在製品、成品等。	A scheduling system where inventory is limited in some way. Note – Inventory can be raw materials, WIP, finished goods, etc.
Push System	推式系統	一個排程系統中，庫存數量並未被正式限制。	A scheduling system where inventory is not formally limited.
Rate	速率	每個時間單位中，完成的產品數目。	The number of products completed per unit of time.
Re-order point	再訂購點	在超市補貨系統中，只要是庫存加上開工數量的總和，低於再訂購點的數量，就發出一張新訂單給供應程序。	In a <i>Supermarket Replenishment</i> system, whenever the inventory plus the open order quantity drops below the re-order point, a new order is generated for the Supplying Process.
Re-order quantity	再訂購數量	拉式系統中產品的標準固定的再訂購數量。	Standard fixed quantity of product to re-order in a pull system.
Rope	繩	在鼓緩衝繩的拉式系統中，限制在第一個程序與系統限制程序間的在製品數量。	The WIP limit in a Drum Buffer Rope Pull System between the first process and the Constraint.
Service Level	服務水位	樂見的補貨時間比例，以維持超市貨架至少有些產品，可用於顧客程序。	The desired percent of time that the Supermarket Shelf will have at least some product available for the Customer Process.
Single Schedule Point	單一排程點	在拉式系統中的單一程序，這是獨立排程之處，其他所有程序則依拉式系統的運作排程。	Single process in a Pull System where the entire Pull System will be independently scheduled. All other processes are scheduled by the Pull System itself.

Single point schedule location	單一排程點的位置	整個拉式系統中，緊跟最後超市點之後的程序。	The process immediately after the last Supermarket in the entire Pull System.
Supermarket Replenishment	超市補貨	拉式方法中，以超市連結顧客程序與供應程序，建立每一個部件的再訂購點與再訂購數目。	Pull method where a Supermarket connects a Customer Process with a Supplier Process. For each part number, a re-order point and a re-order quantity is established.
Supermarket Shelf	超市貨架	在超市補貨系統中，實體成品的存貨位置。	The physical stocking location for completed product in a <i>Supermarket Replenishment</i> system.
Supplying Process	供應程序	拉式系統中的上游程序。	Upstream process in a Pull System.
Throughput	有效產出	系統在每個時間單位的完成工作的總數。一般而言，有效產出=（銷售-直接物料）。	Amount of work completed by a system per unit of time. Typically, Throughput = (Sales – Direct Materials).
Traditional Cost Accounting	傳統的成本會計	成本會計的方式試圖將成本分攤到產品。這個方式，分攤經常費用，通常與直接人工成本成比例。	Cost Accounting approach that attempts to assign costs to products. In this approach, overhead is allocated, usually in proportion to direct labor.
Transfer batch	轉移批量	容許被搬動或轉移從供應程序到顧客程序的工作數量。	The amount of work that is allowed to collect up before being moved or transferred from a Supplier Process to a Customer Process.
Variability in Demand per period	每時期的需求變化性	期間性的需求數量變化，一般以標準偏差衡量之。	The amount of variation in demand from period to period. This is typically measured in Standard Deviations.
Visual Controls	視覺控制	員工能以視覺來控制程序，不需或只需很少的指令。典型的例子包含停車場、停車燈、空貨架等之動線。	Controls that people can process visually with little or no instruction or direction. Typical examples include lines in parking lots, stop lights, empty shelves, etc.
WIP Cap	在製品限制	拉式方法中限制幾個程序步驟間的在製品數量（不是限制每個程序的數量）。	Pull method where Work in Progress is limited across several processing steps (but not specifically limited at

			each step).
Work in Progress (WIP)	在製品	已開工，未完成的工作。	Work that has been started, but is not yet complete.