

## 備份零件及修護零件的存量計畫 Inventory Planning for Spare Parts and Repair Parts

楊金福 Chin-Fu Yang

Department of Management Science, N. C. T. U.

(Received November 13, 1979)

**Abstract** — The purpose of this paper is to help the manager to know how to make the inventory plan for spare parts and repair parts with a more scientific method. Various records from the past have been gathered by data, statistics, analysis and justification. However, it is distinguished from the traditional type of inventory planning. By no means of the different application for the usage records, it also considers the situation of future parts' life. At last, this paper presents the results, which were processed, calculated, discussed and evaluated by the different models, where as it comes from the same data resources. It will make the reader understand the difference and the exact application more deeply.

**摘要：**本文的目的在探討以較為科學的方法，協助管理者如何決定備份零件及修護零件的存量計劃問題。它是從過去所發生的種種記錄裏，加以資料收集、統計、分析和推斷而成的。但是它和傳統的存量計劃方式不同，因為它不僅在運用過去的用料記錄方法有所不同，同時它還考慮到零件的未來使用壽命情況。

最後，本文以同一原始資料來源，應用不同的模式加以處理、計算、討論及評估其結果，以便瞭解其差異性及正確的應用步驟和方法。

### 一、引 論

本文係探討目前製造性企業所面臨最大問題之一的備份零件及修護零件存量計劃問題。

所謂備份零件 (Spare Parts) 又可稱為服務零件 (Service Parts)，指為某系統或設備保養目的起見所提供的額外零件。亦即隨同系統或設備同時購置者。

所謂修護零件 (Repair Parts) 係指某系統或設備產品在交貨之後的某段時間，為維護保養該系統或設備產品所需購買使用的零件；亦即在系統或設備產品已經運送及使用後而購置者 (\*註1)

截至目前為止，我國企業界對於備份零件及修護零件的需求及存量計劃，尚少資料可為參考運用。然而，這類問題却是所有製造性企業所共有的問題；它不僅是專門製造系統或機器設備產品予以出售之製造性企業所常感到困擾問題—因為他們不知道在製造系統或機器設備時要連帶生產多少數量的備份零件與修護零件；而且這也是購置該系統或機器設備產品的工廠或企業所感到棘手的問題—因為他們不知道在購置該系統或設備的同時及其日後每一使用階段期間內，應如何決定所需的零件存貨數量。

本文目的即在探討以較科學的方法，協助製造廠商如何決定備份零件及修護零件存量計劃問題。從下述所介紹的模式中，讀者將會瞭解到它也是從過去所發生的各種記錄裏，加以資料收集、統計、分析和推斷而成；但是它和傳統的存量計劃方式不同；因為它不僅在運用過去的用料記錄方法上不同，更重要的是它要同時考慮到零件的未來有限使用壽命情況。

本文將從傳統上所應用的基本方法，詳細加以說明，並指出其錯誤所在，然後利用科學的方法，如統計學、機率學等，加以敘述，最後對於同一原始資料來源予以處理、計算、討論及評估其結果，以瞭解其差異性及其正確的應用步驟和方法。

## 二、零件的存量問題及其傳統的計劃方式

在擴充設備或購置新機器時，國內企業對於備份零件購置方式依國內採購和向國外採購有所不同。一般而言，國內幾乎很少有企業能對本身產品作試驗，以獲知其在各種使用條件下的損壞狀況，而向購買的客戶提供備份零件的建議；再另一方面，也因為購置者甚少要求設備製造廠商提供此等備份零件，以作為故障修護之用；所以製造廠商也多半不願儲存該等零件而致積壓資金形成呆滯。另外有些企業在可能的情況下，還自行製作修護零件，但很少去估算自製備存該等零件的各項費用與因未備存而遭停工的損失，並且在兩者間比較那一個經濟性較高。

如向國外採購設備時，設備製造廠商常會提供備份零件的建議，這些資料常是他們經試驗或自過去使用經驗數字所統計而得，參考價值應該很高；通常設備製造廠商會建議使用一年所需的備份零件數量，或折算多少個工作小時，以供工作日數不同的國家參考。購買設備者自行決定是否購備該等零件，由於為了避免剛購買設備不久又要緊急採購修護零件，而購備時間通常又相當長，所以多數購買者多會將備份零件一齊購買；但問題在這些備份零件種類、數量是否合理？它須依靠製造廠家所提供的資料正確性而定；有時，更由於使用環境不同，使用條件的變化及操作人員的技術，以致於製造廠商所提供的數據與實際損耗者有很大的差異，形成了需要的零件不足，而不需要的零件則過剩的雙重浪費現象。

另一個問題是當設備使用經過一段相當時間後，要購買何種修護零件，數量多少時，則又缺少可作依循的基準，於是造成了存量管理上的困擾。

備份零件或修護零件不像一般產品零件受人重視，而且缺乏管制。其形成的浪費也易受忽略，但在使用設備較貴或一貫作業的自動化工廠，其重要性却是有目共睹的。常由於一個小零件的故障導致整個生產線之停頓。有些則是修護零件價格昂貴或取得不易，這些情形下，在設定修護零件存量基準時，皆須相當慎重。但目前製造性企業大都只能憑着主觀的想法來決定是否應設有庫存、需存多少；有些則只有任憑問題的一再出現而無法擬定一合理的基準。

部份公營事業或軍事單位過去常採用的方式是在購買設備時，加入某種百分比的零件數量，譬如常以額外加上 20% 作為備份零件。另一種方式則為採用零件包 (Parts Kit)，裏面有關零件至少皆包含一種以上。這是在二次大戰期間開始時美國所採用的方法，其效率不高而所花費的成本甚高。上述的第一種方式，就如採購無線電收音機時，連同其底盤 (chassis) 附加 20% 作備份零件；事實上，當要更換底盤時，則須整個機器組件予以拆除後再重新組配，因此根本不會有機會使用到那些底盤，這就是一種浪費。在上述的第二種方式，則常被發現挪用到其他用途上或其他設備上，真正要使用時反而沒有；如果規定不得用於他種設備，到後來將會發現有許多不必要的零件包却常存在著 (註 2)。

還有一些制度較為完善的企業，則採用統計過去使用記錄的方法，利用簡單模式來決定其庫存量，現以某公司的實際資料，分別用二種不同的模式，予以設定其庫存量的應用方式，分別介紹如下：

### (一) 以平均領用量決定庫存量

某公營單位使用自國外購入之 73 輛工程用車，每當車輛有故障發生時，即送往維護單位檢修；如需用料時，即填寫零件領料單即可取得所領的零件，並予以修護。而庫存管理單位即據此領料單所記載之名稱、規格、數量等資料，按月別予以統計、分析。表 1 示其自 68 年元月至 8 月止的領用記錄。為簡單說明起見，僅以其中之一項 LF-6F-670 Nozzle 之數量，作為計算之代表，並應用模式予以說明如下：

表 1 73 輛工程用車，每月零件用量表

數 量	月 份								總計	平均數	標準差
	1	2	3	4	5	6	7	8			
LF-6F-670 Nozzle	2	3	3	6	5	4	7	3	33	4.125	1.5

庫存量之訂定法：假定該料之訂購時間為一個月

$$\text{則 } 4.125 + 3 \times 1.5 = 8.625 \div 9 \text{ (件)}$$

換句話說，即以平均領用量加上 3 個標準差的領用量為其庫存量之訂定基準。

此種方式，非常簡便；但不精確，因為：

(1) 零件之領用量，並不一定其表示機器設備之零件損耗量。因為領用的零件不一定 100% 的良品，故其統計數字並不表示為零件損耗率或故障率。

(2) 零件損耗率是隨設備之使用期間長短而有不同，愈舊的設備，其零件之損耗愈大，故不能只以過去的平均領用量加上 3 個標準差的安全存量作為庫存量之訂定基準。

(二) 以使用率決定庫存量

有的企業就以一般作業研究 (Operations research) 所介紹的方法，也就是說用零件使用率的記錄，作成機率模式，以訂定庫存量 (註 3)。

通常，以使用率決定庫存量時，其步驟如下：

(1) 搜集資料，並加以統計、分析。

如上述實例中之資料，在作統計時，並非以月別計算，而是以領用件數作為分類標準，其結果如表 2 所示。

表 2 領用件數統計表

領用件數	0	1	2	3	4	5	6	7
實際次數	0	0	1	3	1	1	1	1

(2) 選用適當的分配型態，並作適合度檢定 (Goodness of fit test)

一般來說，分配型態可分為二類：間斷性分配 (Discrete distribution) 及連續性分配 (Continuous distribution)。而間斷性分配又分為二項分配、卜氏分配 (Poisson distribution) 及負二項分配 (Negative binomial distribution) 等三種；連續性分配又可分為指數分配、伽瑪分配 (Gamma distribution)、韋氏分配 (Weibull distribution) 及常態分配等多種。有關上述各種分配型態之特性，一般統計書籍或手冊等皆有詳細介紹 (註 4)，本文從略。

對於表 2 中，故障件數統計表如選為某種分配（譬如卜氏分配）時，必須作適合度之檢定，始能確認是否屬於該種分配（即卜氏分配）。所謂適合度檢定，就是先假設某些資料為某種分配，再比較理論值（或期望值）與實際值之間的差異，並以其差異的大小判定其是否適合該假定的分配。

通常，適合度檢定的方法很多，如  $\chi^2$  檢定法，d 檢定法（註 5）等都可用來檢定表 2 中之資料是否屬於該種分配。本實例之資料經過  $\chi^2$  檢定法之結果，證明它是屬於卜氏分配。

(3) 經過檢定無誤後，即可用該項分配之特性，加以計算其發生機率。本實例經過詳細計算後，得知表 2 的領用件數，其平均數  $m=4.125$ ，而發生機率及累積機率則如表 3 所示者。

表 3 領用件數的發生機率及累積機率

領用件數	發生機率	累積機率
0	0.0160	0.0160
1	0.0670	0.0830
2	0.1375	0.2205
3	0.1890	0.4095
4	0.1950	0.6045
5	0.1610	0.7655
6	0.1110	0.8765
7	0.0650	0.9415
8	0.0340	0.9755
9	0.0154	0.9909
10	0.0060	0.9969
11	0.0031	1.0000

(4) 依照表 3 所示之機率值，利用各種成本模式（註 6）計算在各種情況下的期望總成本，並比較其結果。通常最低期望總成本為其最佳解。現以範例說明如下：

假設 每月訂購 1 次

估計訂購成本為 1200 元/次

庫存成本為 500 元/件（含利息、損耗、保險、人工雜費等）

缺料成本為 5000 元/件（缺料發生時採取之濟急措施所花成本）

則當每次訂購件數為 0（即不訂購），其總期望成本為期望故障件數乘以缺料成本。當訂購件數為 1 件時，則其期望成本為庫存此 1 件的成本加上故障發生件數超過 1 件之期望缺料成本再加上訂購成本。依此類推，我們可算出每月訂購 1 次時最佳訂購件數為多少時，其總期望成本為最低。

同樣方式，當每 2 個月訂購一次，我們也可算出其發生故障須領用零件幾件的機率，並算出應訂購多少件才會使每 2 個月訂購一次其期望總成本最低。如此繼續推演，我們即可找出訂購期間為多少而訂購件數為幾件的最佳值。

依據上述，其計算模式，可用下面數學式表示：（註 7）

$$Y_t(h) = \text{總庫存成本} + \text{總缺料成本}$$

$$= \sum_{\theta=0}^h S_1 t \left( h - \frac{\theta}{2} \right) P t(\theta) + \sum_{\theta=h+1}^{\infty} \left[ \frac{S_1 t(h+1)}{2(\theta+1)} + S_2(\theta-h) \right] P(\theta)$$

$t$  : 每次訂購之間隔時間

$\theta$  :  $t$  時間內零件需求量

$h$  : 期初零件庫存

$S_1$  :  $t$  時間內單位庫存成本

$S_2$  : 單位缺料成本

$S_3$  : 每次訂購成本

$Pt(\theta)$  : 在  $t$  時內耗用  $\theta$  件零件之機率。

$Yt(h)$  : 期初庫存為  $h$  時 (即每次訂購  $h$  件) 之期望成本 (不含訂購成本)

則其最佳解為使  $Yt(h)$  為最小值之處, 即總成本為  $Yt(h)$  加訂購成本。

利用電子計算機求解, 上述實例, 得到最佳解為

$t$  : 1 個月

$h_0$  : 7 件

$Y_1(7) = 3083$  元

總成本 = 總訂購成本 +  $Y_1(7) = 1200 + 3083 = 4283$  元

亦即每月訂購 1 次, 每次訂購 7 件, 其總成本 4283 元為最低。

此種方式利用較繁複的機率公式來求取成本上的平衡, 從計算上看似乎應該較為精確; 事實上, 這個模式本身存在了許多問題, 在實際應用上並不容易, 最明顯的是: 要獲得正確的各项模式參數如庫存成本、缺料成本、訂購成本就很困難; 而且模式本身也存有許多假定, 比如:

- (1) 假定每次訂購成本一樣。
- (2) 假定庫存成本與數量乘時間之積成正比。
- (3) 假定有關的成本皆可用同樣單位表示。
- (4) 假定消耗量呈一定比率的現象。

這些假定在實際使用上都值得檢討; 每次訂購所花的人工、表單、保管費不能每次都一樣; 倉庫容量一定時則存 1 件與存 2 件區別並不大; 不同時間同一金額代表的價值並不一定相同。因此, 這個模式亦僅適用於有限之範圍而已。

又此種方式也是以過去的領用記錄來預測將來的使用情形。也就是說, 拿過去的事實而假定將來同樣會發生此種現象, 這種論調, 即使在某些場合適用, 但引用於備份零件或修護零件的存量基準時, 却又值得探究; 因為這些零件的需求特性, 並不同於一般生產性材料, 此點將在後面加以說明。更實際的例子, 如前述 Nozzle 的使用情況, 在元月份換修 2 件, 這 2 件再次損壞的時間可能是 2 月份以後任何一個月份; 在 2 月份換修 3 件, 3 月中也許有可能是元月份換修又損壞的, 如此, 每一個時間皆加入新的變化, 其複雜性自不能只以簡單的平均數及其分配狀況就能予以涵蓋, 所以應用上述的方式來決定庫存量, 自然無法真正達到存量計劃的目的。

### 三、零件存量計劃模式的建立

#### (一) 零件的需求特性

備份或修護零件的需求不似生產上所需材料屬一次性的需求，它是呈隨機性的；但在專門製造設備以供出售的廠商而言，他們在決定要生產多少服務性零件時，則可在決定最終產品（End product）的可靠性後，利用物料需求計劃系統（Material Requirement Planning System, MRP）配合總日程表（Master Scheduling）來決定生產的備份零件數量及日期。

所謂可靠性（Reliability），依據EIA（Electronics Industries Association）對其所下的定義為：可靠性是某種設備在其面臨的作業條件下，能在預定時間內，順利的執行其目的的機率（註8）。對一個整體設備或系統而言，其可靠性是由構成的零件可靠性以並聯或串聯的方式統合而成，欲維持該設備較高的可靠性就需要那些構成零件的可靠性都達到某種水準，因此當這些個別零件的可靠性很低時，只有利用庫存該項零件的方式，以期在零件損耗、故障時隨即加以換修，使整體設備的停頓時間縮至最短（註9）

可靠性的表示可以在某特定時間內不故障的個數佔全部總數中之百分比來表示；或以單一個體不發生故障的機率百分比表示；如用數學式子表示，則

$t_i$ ：為某一特定時間

$R(t_i)$ ：為至  $t_i$  時止之可靠性

$n$ ：總數

$F(t_i)$ ：為至  $t_i$  時止之累積故障率

$n_i$ ：為至  $t_i$  時止不故障的個數。

則可靠性  $R(t_i) = n_i / n$

而故障率  $F(t_i) = 1 - R(t_i)$

對於設備、系統或設備的零件而言，自其設計製造完成推出使用至完全報損為止，其整體的故障情形，大部份可以浴缸曲線（Bath-Tub Curve）來描述，如圖1所示（註10）。

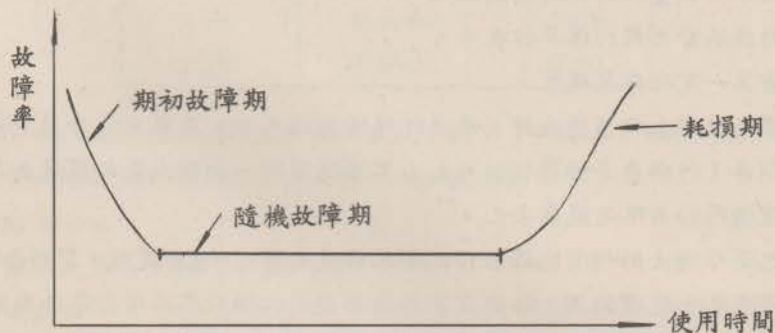


圖1 設備零件故障特性曲線（浴缸曲線）

設備初期使用，或由於設計上未達穩定水準，或製造上的疏忽，或由於使用者對性能、操作狀況的不熟練，常會造成設備零件的故障。此期故障分配狀況較不穩定，故在決定其可靠性或故障率時，常以貫例資料採用無母數（Nonparametric）推定法來推定其可靠性；所謂無母數推定法或稱自由分配法（distribution-free method）係利用有限貫測樣本資料值直接推估群體的方法，其精確度較低（註11）。

此外，對於設備或零件的故障率不穩定或所能獲得的測試樣本資料很少，而不足以判定其分

配狀況時，我們也可利用韋氏分配來找出故障時間的分配，以獲得一較精確的結果（註12）。

當設備或零件使用一段時間後，大部份由於人為因素造成的偏高故障現象逐漸消失，故障率情形穩定而呈隨機狀態，這段時間延續較長，其故障情形可用指數分配形態來說明。

設備使用經過很長一段時間後，其故障率會隨著時間之延長而增加，故障情形趨勢集中於設備或零件的平均故障期間（或壽命）狀況，其後故障狀況可以常態分配或韋氏分配來描述（註13）。

而設備本身的整體故障趨勢，又常會影響其組成零件的故障情形；同一零件在新設備更換與在舊設備更換，會由於其使用條件的不同（如衝擊增加、磨耗加速）而異，整個設備其群體皆屬老舊設備，則其故障需用零件也會增加，此種關係在製造設備以供出售的企業常會發生，當設備產品愈趨向淘汰期，來自客戶方面對修護零件的需求愈多，圖2 可用以表示此種關係（註14）

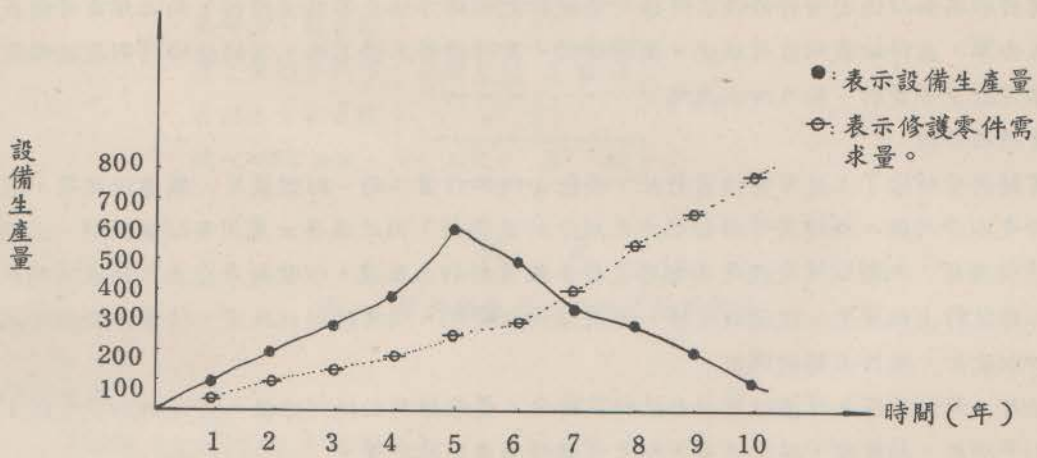


圖2 設備生產量與零件需求量之關係

由上述，我們也可以瞭解如果以過去平均領用記錄來預估未來修護零件的需求量，是無法達到正確預測的目的，因為所需零件的數量是受設備故障的不同期間特性所影響的。

#### (二) 可靠性的應用與資料收集

針對設備零件故障發生的特性，欲能改善對於備份及修護零件的傳統存量管理上的缺失，則必須能對這些設備零件探討其可靠度，亦即其日後的故障率如何，再根據其故障率來設定庫存，方能在預期的水準下，防止因故障而缺料或徒然呆存過多零件的浪費。

設備零件在不同使用週期，其故障情形呈現不同的分配狀況已如前述，因此，必須有足夠資料作分析、統計，以求得正確的零件壽命或故障分配狀況。

有關可靠性資料之收集方法及步驟可分述如下：

##### 1 資料來源

有關零件故障率資料之來源，在美國以軍中為主，於1958—1959年間從各有關之承包契約廠商，獲取資料，並加以有組織收集、累積、分析和編輯，如IDEP(Interservice Data Exchange Program)或FARADA(Failure Rate Data Handbook)等計劃即是。在歐洲，也有EXACT(International Exchange of Authenticatel Electronic Component Performance Test Data)計劃。在日本，雖然尚未有像歐美一樣的組織活動，但是他們也累積了許多方面之製造廠商的售後服務及保全資料，並有一部份報告都有類似的資料發表（註15）。

在我國，到目前為止，尚少有此方面的來源報導，或許在比較有制度、有規模的企業單位，自己擁有過去所作過的部份資料，但都未公開發表，故不易獲得此項資料。但是，各企業亦可經由以下之方法去獲得有關設備零件之故障率資料：

(1)現場測試資料 ( Field Test Data )：產品設計完成後，在製造場所進行壽命試驗所得到的資料，其精確度相當高。

(2)模擬資料 ( Simulated Data )：利用模擬方法作實驗所獲得的資料，一般以等效方式，簡化實驗時間及過程，電子計算機可作模擬的協助工具，這些模擬所得到的資料，其精確度已被證明可與實際測試資料差距極為微小 ( 註 16 )。

(3)現場報告資料 ( Field Report Data )：利用現場實際故障修護報告資料統計推算而得，這種資料收集如以過去僅將修護零件領用量統計記錄的方法是不能使用的。而必須有修護或零件損壞報告單，並詳細載明設備編號、故障時間、故障換修零件名稱、有關故障情形及換修狀況、換修零件數量等資料，始可加以應用。

## 2. 資料的評核

有關的資料除了上述可靠性資料外，尚包含內部作業工時、群體數目、購備時間等，這些資料有些是以平均數、標準差等推估的方式經分析後得到，因此在每次應用有關資料時，必須經過一番評核過程，判斷環境變數是否影響這些參數資料的未來值，以使將來產生不同過去的狀況；比如工程設計上的變更、設備的大修、使用條件的變化、購備時間的改變、作業工時的增減等，都須加以分析，並作有關的調整。

此外，對於獲得之可靠性資料的分析及評估，最常採用的統計方法，可歸納如下 ( 註 17 )：

- (1)平均數、離散度、標準差等，以及可靠性的區間推定等。
- (2)多變量分析：主成份分析、因子分析、判別變數的分析。
- (3)迴歸分析：線型迴歸分析、相關分析、週期變數迴歸分析、漸近迴歸分析。
- (4)離散分析：多元配置離散分析、共分散分析。

## 3. 求故障率及平均故障時間 (MTBF)

如果能自設計或其他方面獲得此種資料，則本步驟僅須將實際故障情形利用上述所列之方法與這些數據相印證；如所有的原始資料為故障修護報告，則須加以統計計算，以求出可靠性或故障率及 MTBF，利用可靠性的公式可容易求得此數據，本文不作敘述與演算；另外也可利用韋氏分配機率紙的方法，作更簡單的求解，在下面一節將以實例演算作更進一步的說明。

## 4. 零件的存量計劃模式

依據美國生產與存量管制協會 (APICS) 於 1978 年年會由 Milt Cook 所發表之論文「服務性零件預測」( 註 18 )，曾用圖 3 表示其預測程序及其架構，其中以目前或將來的零件購備時間 ( Lead Time )、群體數 ( population ) 及平均故障時間 (MTBF) 等為參數，以決定作業工時，然後計算每日故障數，再依二項分配的公式以求零件之需求量，使達到某一安全信賴水準。所謂安全信賴水準，如 95 % 信賴水準就是表示在購備時間內，庫存應備有多少零件，才能產生 95 % 的機率內，不致於使庫存發生缺料的現象。



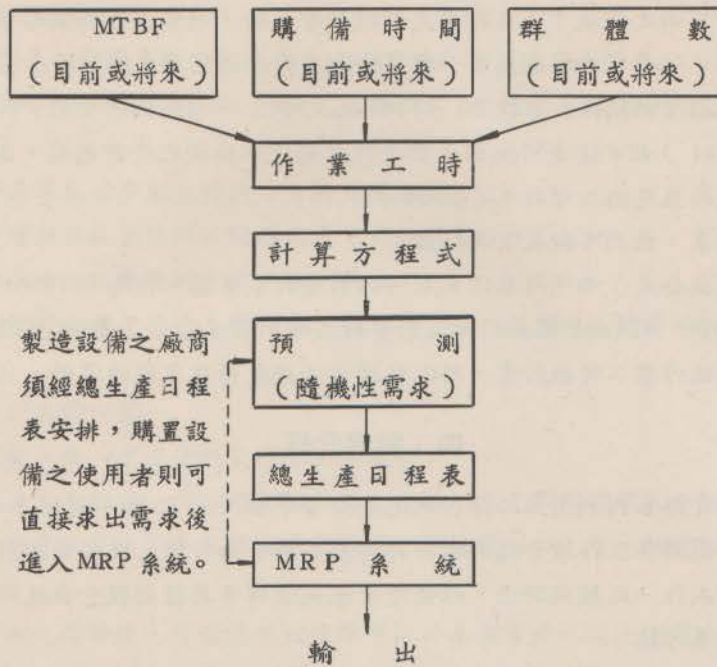


圖 3 零件的存量預測程序及其架構

其數學模式為：

$$P(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x q^{n-x}$$

$$P(x) \geq 0.95 \quad (\text{即信賴水準大於或等於 } 95\%)$$

$n$ ：購備時間 (日)

$$q = 1 - p$$

$$p : \text{每日預期故障數} = \frac{\text{群體數} \times \text{作業工時 (日)}}{\text{MTBF}} \quad \text{但當 } 0 \leq p \leq 1 \text{ 時，始可應用本公式}$$

以上計算，完全依賴統計的基準及願意接受某種程度風險的意願來求得。換句話說，在購備時間  $n$  日內，每日預期故障數  $p$  時，發生少於  $x$  件故障的機會應該大於或等於 95%，這個模式可作為製造設備以供出售的廠商建議客戶時使用，即使在國內訂購，這個模式能給予計劃者信賴度的保證，而防止故障缺料發生。

又依據 S.R. Calabro 所發展出來的一個公式，亦可作為設定零件的庫存量的參考 (註 19)

$$r = \lambda T + Z\sqrt{\lambda T}$$

$\lambda$ ：表示零件需要量

$\lambda$ ：表示故障率

$T$ ：總作業工時

$Z$ ：安全水準變數為常態分配中信賴水準之選定值。當信賴度為 95% 時， $Z = 1.64$

如果已知故障率  $\lambda$  及總作業工時  $T$ ，即可求得在何種安全水準時，庫存零件應為多少，始可防止故障時缺少零件可供換修的情形。但本公式僅適用於零件故障不能修護之情況下，始能應用它。

該書中，亦有下面之敘述：「有許多更好的數學技術，用來決定在滿足某種信賴水準下，備份零件的適當數量。但是作者寧願使用一種實際而又健全的簡單方法，即上述之公式。它可迅速而又單純的處理此類型的問題」（註 20）同時他又舉出一個範例是可用卜氏指數（The Poisson exponential）的方法去解決的，但是作者的近似公式也是理想的，因為在大部分的應用情況下，它是很快而且足夠正確的。（註 21）

從以上的敘述裏，我們可做成下面結論：

兩個模式（或稱公式）都可用來作為零件的存量計劃根據。但是 Calabor 公式只能獲得近似值，但方法簡單易行，而 Cook 的公式較為完整而正確，因為它除了考慮 MTBF 以外，也要加入購備時間，群體數及總作業工時的因素，所以執行時必須獲得更完整的資料，始能應用。

#### 四、實例介紹

本節之目的在介紹如何利用第二節所述之某公營單位所用 73 輛工程用車之 Nozzle 零件的實際耗損的資料，並應用第三節所介紹的零件存量模式的詳細步驟，最後對於計算的結果，與傳統的零件存量計劃模式作一比較與評估，以使讀者能夠獲得更具體的觀念與技術。

##### （一）資料來源及搜集方法：

有關工程車之各項零件的可靠性資料，原則上應可向供應廠商索取，如果對方無法提供，則應向有關政府或廠商公會索取，有的學術研究機構亦有可能提供的。萬一都沒有辦法獲得該項零件之資料那就必須從公司本身的修護紀錄表（應向修護單位追查；而非向零件倉庫詢查）。為容易說明及計算起見，本實例乃採取抽查 73 輛工程用車的 10 輛，並以其購入及開始使用以後（68 年元月份以後）之所有修護紀錄表。表上記有多項資料如發現故障的時間，修復完成的時間，故障發生的地點、部位、車輛的編號及其製造日期，以及零件更換的狀況，如品名、規格、數量、原因等，還有處理的方式等等。

從該項記錄表中，可以找出許多原始資料如故障更換時間，及該單位的平均每日作業小時（可換算成總工作小時）。並經整理後，有關 Nozzle 的故障換修工時資料，按照大小順序排列成表 4 的第(2)欄。

表 4 Nozzle 的故障時間統計表

No. (1)	故障時已使用工時 (2)	累積故障機率(%) (3) (依韋式分配中位等級表查出)
1	3100	6.697
2	6260	16.226
3	10184	25.857
4	11696	35.510
5	19685	45.169
6	21387	54.831
7	24250	64.490
8	36262	74.142
9	39618	83.774
10	48629	93.303

(二) 決定分配型態及故障率

以上述 10 個樣本，利用韋氏分配機率紙以決定其分配型態及故障率。

(1) 首先，利用中位等級表 (Medium Rank) (註 22) 查出樣本為 10 時之累積故障分配率如表 4 第(3)欄所示。

(2) 用表 4 之數字在韋氏機率紙上作圖 4，其步驟如下：

- ① 在機率紙上底線標註其使用工時的尺度 (對數尺度)。
- ② 依表 4 順序找出每輛車使用工時對應之垂線。
- ③ 依相對之中位等級值之尺度 (縱軸) 上劃一水平線與相對之工時垂線相交，在交點上打×作記號。
- ④ 重複(2)(3)直到各點作完。
- ⑤ 依各點的趨勢，繪一直線使能最適合於其趨勢。
- ⑥ 在機率紙最左方基點作一與(5)趨勢線平行之直線，其交點即為韋氏分配之形狀參數  $\beta$ 。

圖 4 顯示韋氏機率紙及故障率求解繪圖的過程，其結果  $\beta = 1.3$ ，極近似於指數分配型態。

(註 23)

而由圖中所繪出之趨勢線，可直接求出故障率低於某個百分比時之使用工時，如 10% 時，其使用時間為自 10% 處繪一水平線交於趨勢上 A 點，再自 A 點作垂線，交於底端使用工時線，得之為 4500 小時；因此，也可求出 50% 故障時之使用工時為 19,000 小時，此即平均故障時間 (MTBF)。

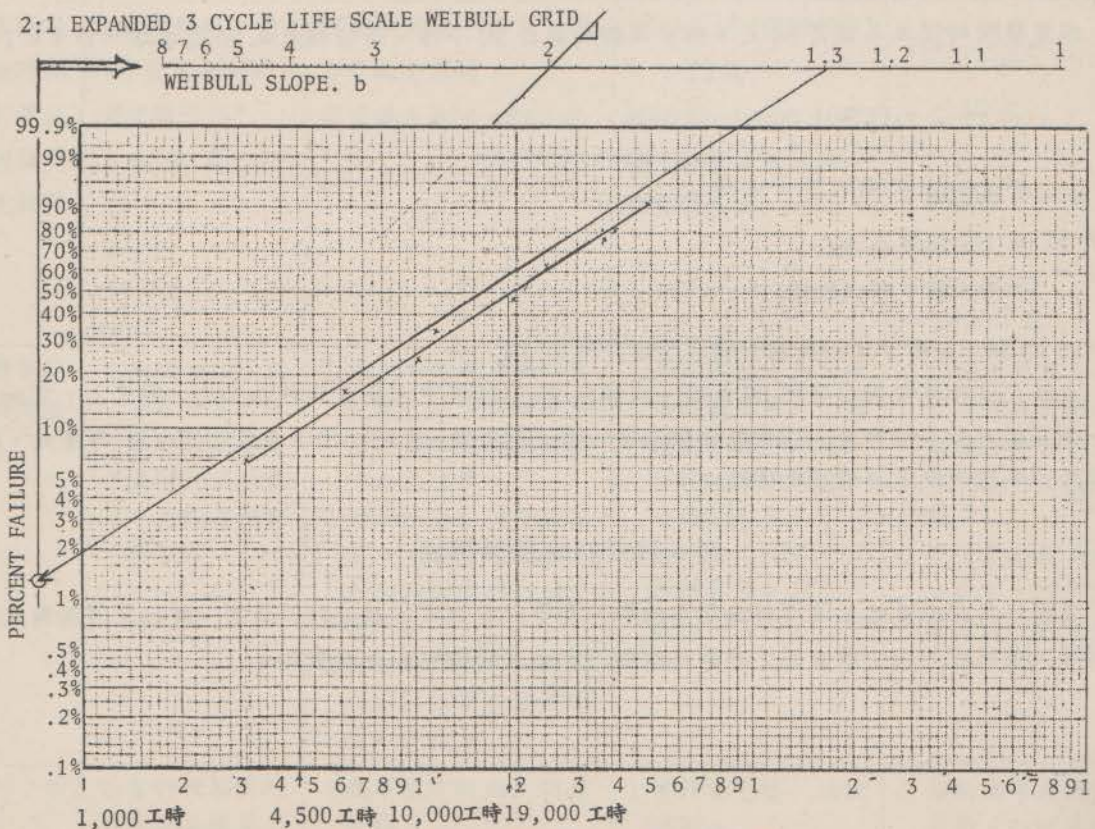


圖 4 韋氏機率紙及故障率求解繪圖

### 三、零件存量計劃模式之應用

利用上述所獲得之可靠性資料，即平均故障時間為 19,000 小時，再應用 Cook 及 Calabro 之模式，分別計算如下：

#### (1) Cook 模式

當車輛群體數為 73 輛；零件購備時間平均為 30 天，作業工時每日平均 10 小時；MTBF 為 19,000 小時，信賴度為 95 %

$$\text{則 每日預測故障數 } p = \frac{73 \times 10}{19000} = 0.038 \quad \text{因 } p = 0.038 < 1 \text{ 故可應用本公式}$$

$$n = 30 \text{ 天} \quad p = 0.038 \quad q = 0.962$$

$$\text{代入 } P(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x q^{n-x} \text{ 公式中}$$

$$\text{使 } P(x) \geq 0.95 \text{ 時，則 } x = 5 \text{ (件)}$$

此即考慮購備時間，計算在這段期間內可能發生超過  $x$  件故障機率在要求的信賴水準下決定最適當之零件存量；故當零件不能在短期取得，其購備時間長，則備分零件存量也隨之增加。

在備分零件方面，歐美有一經驗法則：即所有備份零件存量價值不要超過所購設備值的 5 %，(註 24)，雖然它具有某種風險的猜測，却可用來作為與本模式所求出者相比較。

#### (2) Colobro 模式

利用同樣之數據，即 MTBF = 19,000 小時，其平均故障率則可視為  $\frac{1}{19,000}$  (因為  $\beta = 1.3$  之韋氏分配近似於指數分配)。

假定使用時間為每個月 30 天，作業工時為每日 10 小時，而信賴度為 95 % 水準，即  $Z = 1.64$  時

$$\begin{aligned} r &= \lambda T + Z\sqrt{\lambda T} \\ &= \frac{1}{19000} \times 30 \times 10 + 1.64\sqrt{\frac{1}{19000} \times 30 \times 10} \\ &= 0.016 + 0.206 \\ &= 0.222 \text{ (件/輛)} \end{aligned}$$

而 73 輛工程用車，則每個月需  $0.222 \times 73 = 16$  (件)

此模式係考慮每個月使用 30 天時，信賴度 95 % 情況下不發生缺料的情況；事實上，它加上了一個相當大的安全存量。依常態分配而言，當平均數為  $\lambda T$  時其標準差不會有  $\sqrt{\lambda T}$  那麼大，而須再除以一个與樣本數有關之係數。

## 五、模式的彙總與評估

本節的目的在彙總上面所討論的各種零件存量計劃模式，並就計算結果、特性及適用對象及評估等列成表 6，以使讀者能更清楚地瞭解到本文所討論的各主要重點。

表 6 模式的彙總與評估

模式 評估	傳統的存量計劃模式		零件的存量計劃模式	
	平均數	機 率	Cook	Calabro
公式	庫存量 $= \mu t + 3\sigma$ $\mu$ : 月用量平均數 $t$ : 訂購期間(月) $\sigma$ : 標準差	$Y_t(h) = \sum_{\theta=0}^h S_1 t (h - \frac{\theta}{2}) \cdot P_t(\theta) + \sum_{\theta=h+1}^{\infty} \left[ \frac{S_1 t (h+1)}{2(\theta+1)} + S_2(\theta-h) \right] P_t(\theta)$ $Y_t(h) : \text{期望成本 (不含 } S_3)$ $t : \text{訂購期間 (月)}$ $h : \text{期初存量}$ $\theta : t \text{ 時間內需求量}$ $S_1 : \text{庫存成本}$ $S_2 : \text{缺料成本}$ $S_3 : \text{訂購成本}$ 最佳庫存量 $h_0$ 為 $Y_t$ 為極小值時	$P(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x q^{n-x}$ $n : \text{購備時間 (日)}$ $x : \text{零件購置量}$ $p : \text{每日預期故障數}$ $q : 1 - p$ $P(x) : \text{購置 } x \text{ 件時之信賴度}$ (當 $0 \leq p \leq 1$ 時始可應用本公式)	$r = \lambda T + Z \sqrt{\lambda T}$ $r : \text{庫存量}$ $x : \text{平均故障率}$ $T : \text{使用期間 (日)}$ $Z : \text{信賴水準下之變數值}$
實例之 數字經 計算後 所獲得 之結果	訂購期間為一月， 購存量為 9 件時， 期望總成本* = 5700 元	訂購期間為一個月，購 存量為 7 件時， 期望總成本* = 4283 元	$P(x) > 0.95$ (信賴水準) $n = 30$ 天 MTBF = 19000 小時 購置存量 $x = 5$ 件， 期望總成本* = 3700 元	$\lambda = \frac{1}{19000}$ $T = 30 \text{ 天}$ $Z = 1.64$ (95%信賴水準) 購存量 $r = 16$ 件 期望總成本* = 10200 元
特性及 適用對 象	1 依過去領用記錄收集資料，並加以計算。 2 適用於需求穩定之生產性材料項目。	1 依過去使用資料計算統計，找出其分配型態，並求出發生故障件數之機率。 2 適用於發生機率前後不互相影響的需求上如聖誕樹賣出之機率情形者。 3 可在庫存成本、訂購成本及缺貨成本間求得一平衡。	1 必須事前搜集並獲得有關可靠性，群體數、購辦時間、作業工時等資料，始能應用。 2 適用於備份零件及維護零件之庫存計劃上。	1 必須獲得零件之可靠性或使用後之故障率資料始能計算平均故障率。 2 在決定某種信賴水準下，即可決定修護零件之庫存量。
評 估	1 資料收集及計算皆甚簡單。	1 機率設定較難，計算複雜。	1 資料要完整，始能應用。	1 須收集修護換修資料，始可應用。

2 不適用於零件 存量計劃上。	2 成本資料亦不易獲得。 3 不適用零件存量計劃 上。	2 庫存量最低。 3 可用於零件存量計 劃上。但如 $p$ 超過 1 或小於 0 時，則 本公式不能應用。	2 計算簡單，但精 確度較差，庫存 量偏高。 3 可用於零件存量 計劃上。
備註：* 本表所列之期望總成本，是以相同的數據，即實例中所假設之條件，並以該 8 個月 份之領用量為計算基準而求得的。			

## 六、結 論

零件的存量計劃，是材料管理的其中一項計畫，也是生產與營業功能上很重要的一環。過多的零件庫存固然積壓資金，也造成管理不易之現象；相反的，零件太少，則昂貴設備的閒置，停工待料的損失也不少，更嚴重的還是喪失了營業獲利的好機會，同時市場佔有率及商譽的損失更是無法計算。

傳統的存量計劃方式，並未瞭解到零件的需求特性及考慮要素，諸如可靠性、作業工時、群體數等等；而現代的零件存量計劃則必須仰賴資料的收集、累積、整理和分析。再加上不斷地更新與修正，始能獲得完整而又可用之資料。同時，對於模式之應用亦必須加以適當的選擇，尤其對於昂貴的設備零件，更非特別注意不可，否則付出龐大的代價，其結果只能換得經驗而已。

本文的引論即在說明零件庫存的特性與功能，然後申論傳統的存量計劃，如何不適用於零件之存量計劃上，接著就指出零件存量計劃的考慮要素及如何取得所需資料，同時介紹兩種模式，即 Mile Cook 及 S.R. Calabro 兩位先生所提出之公式，最後用實際之資料，予以印證並評價其最後結果。但願本文之介紹，能提醒讀者對於零件存量計劃的方法，有一新的觀念，並嘗試使用此一技術於零件的存量計劃上去，而使企業之經營管理走上更合理更有效率的坦途大道上。

註 1：有關備份零件 ( Spare Parts ) 及修護零件 ( Repair Parts ) 之定義，請參閱 "APICS DICTIONARY" Third Edition 1970 及 "21st annual conference proceeding of APICS" 第 86 頁

註 2：有關此實例之敘述，請參閱 S.R. Calabro 所著的 "Reliability Principles and Practics" 第 145 ~ 146 頁

註 3：請閱閱陳鴻基所著 "經略學概要"

註 4：請參閱 W.G. Ireson & E.L. Grant 合著的 "Handbook of Industrial Engineering and Management" 2nd Edition 1971 第 766、768 頁

註 5：有關  $\chi^2$  檢定法及  $d$  檢定法，在一般統計書上都有介紹，如張忠孝先生所編著的 "可靠性的原理與應用" 第 50 頁 ~ 56 頁，即有說明並有例題示範。

註 6：同註 3

註 7：同註 3

註 8：請參閱 S.R. Calabro 所著的 "Reliability Principles and Practics" 第 1 頁

- 註 9：設備零件發生故障時，有二種處理方式：(1)把零件修復(2)換新零件。本文所探討者，限換新零件的處理方式而已。
- 註 10：請參閱日科技連盟所編之“初等信賴性テキスト”第 21～23 頁
- 註 11：請參閱張忠孝著“可靠性的原理”第 75 頁及 Irwin Miller and John E Freund 合著“Probability and Statistics for Engineer”
- 註 12：請參閱 R.W.Aamoth 所發表的“Plotting Weibull Probability Paper (Technique), General Motors Institute。”
- 註 13：請參閱張忠孝著“可靠性原理及應用”第 18 頁。
- 註 14：APICS, Proceeding of the 21st Annual International Conference, 1978 第 101 頁。
- 註 15：請參閱“初等信賴度テキスト”第 87 頁。
- 註 16：請參閱 S.R. Calabro 所著“Reliability Principles and Practics”第 7 章。
- 註 17：請參閱“初等信賴性テキスト”第 88 頁。
- 註 18：同註 14 第 93～102 頁。
- 註 19：同註 16，第 146～148 頁。
- 註 20：同註 19，第 146 頁。
- 註 21：同註 19，第 147 頁。
- 註 22：同註 12。
- 註 23：韋氏合配中，如  $\beta = 1$  其分配型態趨近指數分配。  
 $\beta = 3.5$  其分配型態趨近常態分配。  
故以韋氏分配求故障率時，其本身即具有適合度檢定之功能，請參閱 R.W.Aamoth 之“Plotting Weibull Reliability Paper” G.M.Institute。
- 註 24：請參閱 APICS 所出版之“21 Annual Conference Proceedings”第 97 頁。

### 參考文獻

- 1 張忠孝「可靠性的原理與應用」自版 68 年元月。
- 2 陳鴻基「經略學概要」台北大中國圖書公司 62 年。
- 3 日科技連盟信賴性研究委員會「初等信賴性テキスト」10th Ed；日科技連出版社 1975。
4. American Production and Inventory Control Society. (APICS); Proceeding of the 21st Annual International Conference, 1978.
5. APICS Dictionary 3rd Ed.
6. H.M.Wagner 'Principles of Operations Research with Applications and Managerial Decisions' Engliwood Chiffs, N.J. Prentice-Hall 1969.
7. Irwin Miller and John E. Frewnd "Probability and Statistics For Engineers" Arthur D. Little.
8. S.R.Calabro "Reliability Principles and Practices" President Aerospace Technology Corp. 1973.
9. Robert W.Aamoth "Plotting Weibull Probability Paper" General Motors Institute.
10. W.Grant Ireson & Engene L.Grant "Handbook of Industrial Engineering and Management 2nd ed. Engliwood Cliffs, N.J., Prentice-Hall 1971.