

可靠度技術手冊

可靠度需求訂定技術



彭鴻霖 編著

中華民國八十九年十二月十八日

中国可靠性网 <http://www.kekaoxing.com>

可靠度需求訂定技術

目 錄

1 前言	1
2 產品效能指標	2
2.1 ISO 9000 品質系統之可靠度定義	2
2.1.1 品質之定義	2
2.1.2 可靠度之定義	3
2.2 產品效能指標	5
2.3 功能效能	6
2.4 實體效能	6
2.5 使用度	6
2.6 可靠度	7
2.7 維護度	7
2.8 支援度	7
2.9 可用度	7
2.10 可恃性	8
2.11 有效性	8
2.12 成本效益分析	9
2.13 各種時間效能間之關係	9
3 可靠度定義與要素	10
3.1 可靠度定義	10
3.2 可靠度要素	11
4 可靠度量度與指標	12
4.1 固有可靠度與操作可靠度	13
4.2 基本可靠度與任務可靠度	14
5 可靠度需求展開	15
5.1 發展系統可靠度規格注意事項	15
5.2 可靠度規格發展程序	17
5.2.1 確定物品的功能、物體型態與系統邊界	18
5.2.2 定義設計功能特性與失效準則	18
5.2.3 定義生命週期、任務輪廓、工作循環與操作時間	19
5.2.3.1 生命週期定義	19
5.2.3.2 系統狀態與時間定義	20
5.2.4 定義預期的使用、環境及維修條件	22
5.2.5 確定可靠度規格	23
6 可靠度需求與規格擬訂案例	23
參考文獻	27

1 前言

「人生自古誰無死」，說明世界上沒有永生不死的人，相對於此，人們所使用的物品也沒有永遠不會壞的，亦即「萬物到頭終必毀」。因此，永生與不毀，一直是人們追求的美夢與目標。當然，永生幾乎是無法圓的美夢，但是對於物品能夠長期擁有，卻是人們一直不願放棄追逐的目標。

當人們在考慮其終生伴侶時，總是希望自己的對象「聰明」、「健康」、而且能夠彼此「長相廝守」。同樣，當人們想擁有某一物品時，會浮現於腦海的要求，除了「功能好」之外，是不是也希望所擁有或使用的物品能夠「耐用」不容易損壞、「經久」具有較長的壽命，由此引出了對物品可靠度的概念。

第二次世界大戰後數十年間，軍事、太空及商業用途之裝備數量大增，韓戰期間，由於裝備無法抵抗惡劣的戰場作戰條件，美軍面臨著電子裝備在前線開箱存活率低及操作使用時失效的實際問題。六十年代，美國與蘇聯在太空競賽方面也經歷不少電子零組件失常而造成昂貴的損失。當太空與國防裝備在需要時發生失效，將嚴重地影響國家實力與競爭戰果，甚而嚴重損失兵力。為解決此一品質問題，可靠度技術發展因而蓬勃發展，太空與國防裝備的可靠度也因而大幅提高。當然，無論是太空或是國防領域，都是任務導向應用，需要時間明確且短暫，所有的努力以達成目標為主，甚至於不惜手段犧牲其他需求。雖然太空與國防應用的使用條件嚴苛、可靠度需求較高，但是在技術應用時之考量面，則相對較為直覺、單純。

冷戰結束後各國國防預算相對縮減，可靠度技術應用領域，逐漸由太空國防領域轉向一般民用產業，應用對象自然是以日常用品、工業產業品、醫療器材、與科學儀器等產品(包括商品與服務)為主。相對於太空與國防產品，民用產品的使用條件或許較為溫和，可靠度需求可以較低，但是產品使用時間則相對增長許多。特別是現代商業應用產品，如計算機、資訊處理系統、自動化生產程序、通信網路及醫學電子儀器等，裝備進步程度出乎意料之外，不但功能複雜、變化多，而且隨時都有精進或被新產品取代的壓力。裝備愈複雜、發生件失效的零件數量與機會愈多，使用時間又增加，因而可靠度就愈低。商用計算機或程序控制裝置的停機時間也會造成大量的財務損失；而醫學電子儀器或安全裝備的失效，則是人命關天的問題。

可靠度的英文為"reliability"，其意義相當單純，兼具定性與定量的意涵，嚴謹一點的則以"s-reliability"表示必須應用統計技術的定量概念。但在中文就複雜多了，此字除了最常用的可靠度之外，尚有可靠性、信賴性、信賴度等不同的中譯詞。使用「性」與「度」的最大的區別是在於「可靠性」較偏向於定性方面的描述，而「可靠度」則偏重在數量化的度量表現，不過在廣義的應用上，除非必須刻意區分定性或定量的意義，否則兩者應該是可以混合使用的，當然統一使用「可靠度」則不失為較簡潔的用語。

日本人將 reliability 寫成漢字「信賴性」，而以「信賴度」表示 s-reliability，因此，國內不少日本技術轉移公司及日文技術書籍，大多採用日文直譯，稱 reliability 或 s-reliability 為信賴性或信賴度。基本上，可靠度本身及其影響因子都是隨機變數，由實驗或現場數據進行評估時，必須運用統計技術的信賴水準(confidence level)來表示樣本推論結果的影響，若使用「信賴度」或「信賴性」為 reliability 的中譯詞，在直覺上容易與統

計分析之信賴水準產生混淆。因此，在實務上應儘量避免使用「信賴性」或「信賴度」，以免在表示上造成迷惑和困擾，特別是在管理決策或履約時。

由於可靠度的重要性，因此有必要瞭解可靠度所指為何，如何定義可靠度需求，以及如何擬訂可靠度規格所需要的技術等相關事宜。由於可靠度為物品在時間方面的效能表現，本章首先說明說明系統生命週期與系統效益分析的課題，包括：生命週期與時間定義、系統定義與系統狀態、產品時間效能、系統維修度與支援度、系統操作可用度與固有可用度、系統工程與可靠度工程、系統有效性與生命週期成本；其次說明可靠度定義與量度，包括：可靠度定義、可靠度要素、常用的可靠度量度指標、操作可靠度與固有可靠度的關係、基本可靠度與任務可靠度的關係、可靠度與品質的關係；最後討論有關可靠度需求展開問題，包括：發展系統可靠度規格應注意事項、顧客或使用者需求、可靠度規格發展程序及常見的可靠度規格範例。

2 產品效能指標

2.1 ISO 9000 品質系統之可靠度定義

近年來，國際標準化組織(International Standardization Organization, ISO)為了避免因為產品的品質問題而造成國際間貿易行為的障礙，一直致力於品質相關課題的標準化工作。自從 ISO 在 1986 年發行 ISO 8402、ISO 9000、ISO 9001、ISO 9002、ISO 9003 及 ISO 9004 等 ISO 9000 品質標準系列以後，目前已經成為大家討論品質問題時的核心。當然，ISO 9000 系列對於品質相關的事項並沒有太多的創新，只是將原本散佈在美軍標準及各國國家標準等各個場合的觀念與作法，從供應者與需求者兩個相互合作才能獲得雙贏結果的立場加以整合。

一般人在提及品質時，所討論的對象不外乎為產品(product)(包括材料、過程、零件、硬體、軟體)和服務(service)，在以下討論中，以產品表示產品或服務。而討論的目標則是供應者(生產者)所提供的產品或服務，必須滿足需求者(顧客、消費者)的需要(needs)，也就是說，在產品交易時最起碼必須達到供需均衡的原則。根據買賣時訂定品質的權責不同，可將產品分為合約型及市場型兩類，對於品質的定義以採購者為主的產品稱為合約型產品，而由生產者扮演主導角色者，則稱為市場型產品。無論是那一種產品型態，產品的品質總是買賣雙方注意的焦點，尤其是發生爭議時。

2.1.1 品質之定義

根據商檢局發行之 ISO 8402 (1986)：「品質 - 詞彙」中譯本的定義，「品質係指一項產品或服務之特徵與特性之整體性，且具有滿足其所規定的或隱含的需要之能力」(The totality of features and characteristics of a product or service that bear on its ability to satisfy stated or implied needs)。由以上的定義可知，顧客的需要有兩種表達方式，其一為規定的(specified)、另一為隱含的(implied)。所謂規定的需要，通常是指必須明明白白、清清楚楚地訂定在採購合約或行銷文件上的項目；而隱含的需要，則必須經過適當的推導、引伸，才能獲得具體結果的項目。供應者所提供的產品的目的是為了滿足顧客需要，這些產品必須具備一些能力才能滿足顧客的需要，這些能力可以用產品的一些

特性或特徵表示，這些特性及特徵的綜合表現就是品質。因此，品質就是為了具有滿足顧客需要的能力，所提供的產品必須具備的特性或特徵的整體表現。

1992年國際標準化組織對發行了五年的國際品質標準 ISO 9000 系列做例行的定期檢討與修訂，在新修訂的 1993 年版的 ISO 8402 中，將品質的定義修訂如下：「品質係指物品滿足規定的及隱含的需要之能力所具有的特性之整體表現」(The totality of characteristics of an entity that bear on its ability to satisfy stated and implied needs.)。比較 1986 年版與 1993 年版，顯然新的品質定義更為簡潔且具彈性，以物品(entity，此字係法文語系國家使用之英文，在英文語系國家則用 item)代替原來的產品(product)或服務(service)，並將原來用以描述物品屬性的特性與特徵，去掉其中較為模糊的特徵，只保留較為明確、可量的特性一項，如此的修訂可避免對品質進行評價時的困擾及可能產生的爭議。另外一點值得注意的是，認定規定的需要與隱含的需要兩者都是物品應該同時存在的項目，而不是只要有一個以上即可的情形。

2.1.2 可靠度之定義

ISO 8402 除了對品質訂定直接的定義外，還在品質定義以備註的方式提出一些有關的補充說明，1986 年版本其中前三項為：

- (1). 在有合約之情況下，各項需要均經規定說明；而在其他情況時，凡隱含的需要均應予以指明及規定。(In a contractual environment, needs are specified, whereas in other environments, implied needs should be identified and defined.)
- (2). 在許多場合下，需要可能會隨時間改變，此意味著規格必須定期進行修訂。(In many instances, needs can change with time; that implies periodic revision of specification.)
- (3). 各項需要通常會轉換成帶有規定準則的特徵與特性。需要可能包括適用性、安全性、可用度、可靠度、維護度、經濟性及社會環境等各個層面。(Needs are usually translated into features and characteristics with specified criteria. Needs may include aspects of usability, safety, availability, reliability, maintainability, economics and environment.)

同樣，ISO 8402 的 1993 年版本，對品質定義備註前三項亦做了如下的修訂：

- (1). 在有合約情況下，或法規的約束情況下，例如核能安全性領域，需要必須加以規定；而在其他情況下，隱含的需要須予以確定及定義。(In a contractual environment, or in a regulated environment, such as nuclear safety field, needs are specified, whereas in other environments, implied needs should be identified and defined.)
- (2). 在許多場合下，需要可能會隨時間改變，此意味著規格必須定期進行修訂。(In many instances, needs can change with time; this implied periodic review of requirements for quality.)
- (3). 各項需要通常會轉換成帶有規定準則的特性。需要可能包括如性能、使用度、可恃度(可用度、可靠度、維護度)、安全性、社會環境、經濟性及美學等各個層面。(Needs are usually translated into characteristics with specified criteria. Needs may

include, for example, aspects of performance, usability, dependability (availability, reliability, maintainability), safety, environment, economics and aesthetics.)

根據 ISO 8402 (1986)品質定義備註(1).的說明，在有合約的環境下，合約型產品的品質源於顧客的需要，必須明確地加以規定。也就是說，在有合約行為的情形下，買賣雙方所關心的品質為合約中規定的需要；至於在其他環境下，通常是市場型產品，對於產品品質定義則必須確定及定義隱含的需要。而在 1993 年的版本，則加強產品的社會責任，將法規的約束力也視為必須明確訂定需要的範圍。至此，有關品質的定義仍然在於廣義的看法，尚無法看出可靠度在其中所扮演的角色。

品質定義的備註第(2).項則是在品質的定義中導入可靠度觀念相當重要的一項註釋，「需要會隨著時間而改變，因此規格必須定期進行修訂」，1993 年版本改變的部份為將原來要定期修訂的對象由「規格」改成「品質需求」。這樣的修訂主要是因為需求的含義較廣，規格只是需求中的一個固定的準則，一般規格的決定權責在於研製者。雖然備註(2).是從顧客的角度來說明需要並不是一成不變的，並沒有指明生產者所提供的物品的能力會隨時間改變，但是已經強調品質是動態、會隨時間變化的事實。而時間品質正是可靠度的意義，根據此項備註，事實上已經認定可靠度是屬於隱含的需要，也就是必須加以推導或引身的物品特性。

對於 ISO 9000 系列說明品質與可靠度的關係，就在備註(3).，特別強調顧客的需要必須轉換成產品的特性或特徵，並且賦予規定的準則，如何才能對品質做評價並比較其好壞程度，而需要可能包括使用度(usability)、安全性(safety)、可用度(availability)、可靠度(reliability)、維護度(maintainability)、經濟性(economics)及社會環境性(environment)(亦即社會需求，requirement of society)等方面。此一備註說明可靠度是顧客的需要之一，而且這些需要應該轉換成產品的特性，也就是說可靠度是產品的特性之一。由此可知，ISO 9000 對於產品的所有品質制度、系統、活動、作業等，都應該含有可靠度此一產品品質特性。

1993 年的版本修訂使備註(3).對於顧客的需要與物品的特性之間的關係做了更有系統的說明，對於物品特性的描數從靜態的性能(performance)及使用度等能力開始，接著考慮動態的時間因素，並且以可恃度(dependability)來包括可用度、可靠度及維護度等物品在時間效能方面的整體表現，其次是考慮與人機系統(man-machine system)的人員與財務有關的安全性、然後擴充至周遭社會環境性、經濟性，以及美學等各個層面。雖然只是在備註的說明，但是已經很完整、有體系地說明物品品質特性的內容。這種更為廣義、涵蓋層次更多的定義，為未來從事品質與可靠度之管理與工程人員必須熟知的知識，其中各個特性彼此之間的關係如圖 1 所示。

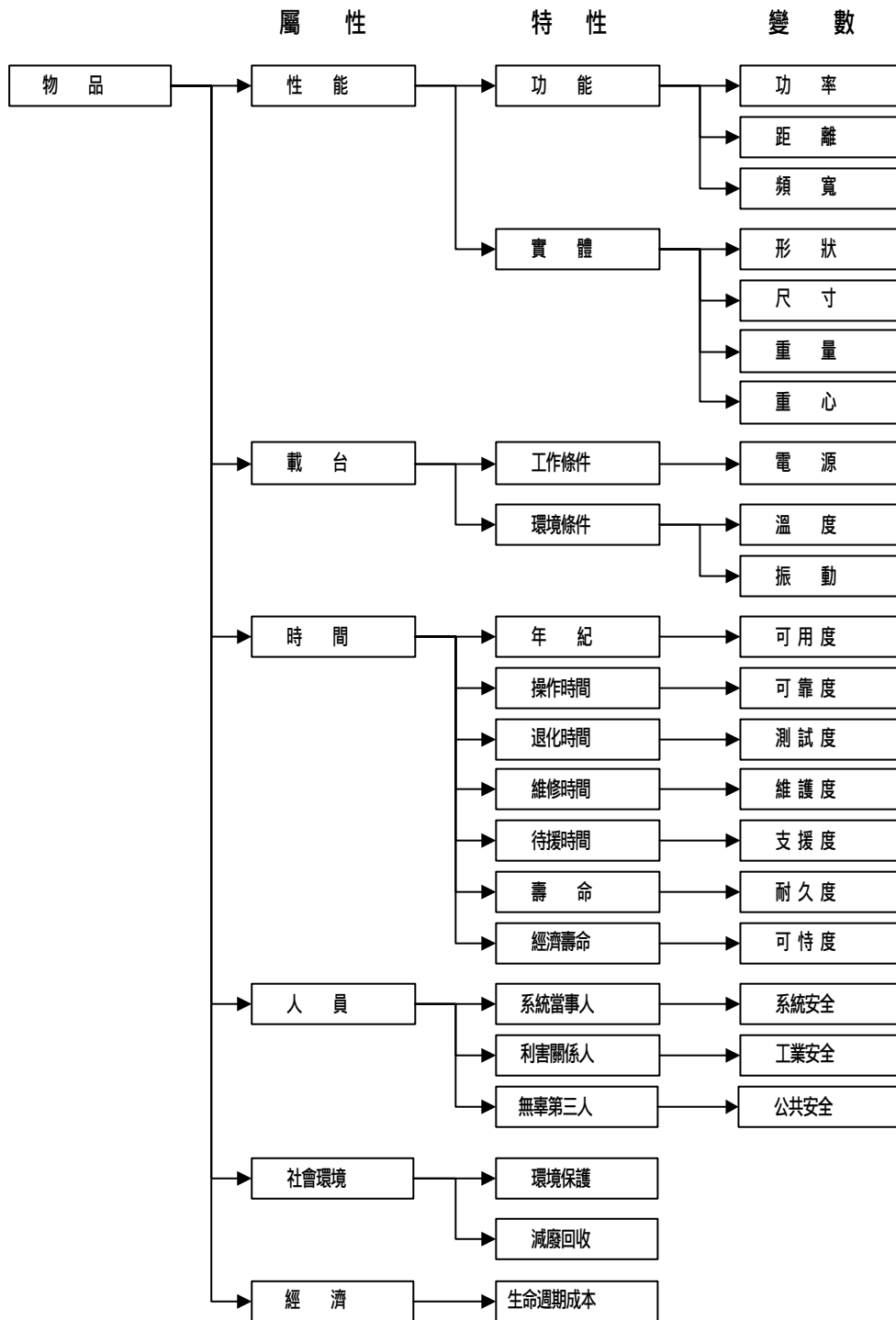


圖 1：ISO 9000 品質系統之產品特性定義

2.2 產品效能指標

如前所述，效能(performance)乃是指物品履行任務的表現結果，為表示物品需求面與供給面之間交絡關係的術語，代表著物品本身或與物品有關的各項作業，在其生命

週期中所表現出的各種能力，由於這些效能所用名詞的英文字尾大是-bility，因此討論這些效能的學域又稱為能力學，亦有人稱之為易利器。

一般描述物品能力常用的效能包括：性能(performance)、設計能力(capability)效能、使用度(usability)效能、可靠度(reliability)效能、維護度(maintainability)效能、及維護支援(maintenance support)效能或支援度(supportability)效能、可用度(availability)效能、可恃性(dependability)效能、耐久度(durability)效能、持久性(longevity)、有效性(effectiveness)效能等。由於上述這些效能中的可靠度、維護度、支援度、可用度、可恃性、持久性、及持久性等，與時間有著密切的關聯，因此又泛稱為時間效能(performance over time)。其中，耐久度效能與可靠度效能的差別為：可靠度強調任務的成功與否，因此以平均失效間隔時間(MTBF)為其代表量度指標，對於有預防維護的裝備而言，則為平均維護間隔時間(MTBM)；耐久度則與物品的壽限(end of life)有關。持久性則為早期對於電子裝備在壽命方面的用語，後期已經很少使用。近年來，國際間有將所有時間效能統稱為可恃性的趨勢，並且考量壽期成本因素，以成本效益來描述物品的能力。當然，這些能力指標並非新創名詞，只是為因應時代潮流與知識成長而加以整合，並且能夠以一些大家都理解、更能清楚地敘述物品的指標來描述物品的能力。以下分別簡單說明各項效能之定義及彼此之間的關係。

2.3 功能效能

功能(function)乃是擁有物品最基本的目的，直覺上可以稱為物品做功的能力，亦即可以提供能量或力量，作為執行某項任務之用，讓人生活的更舒適、順暢。何謂功？在物理學上常見力、熱、電、磁、光、聲等皆屬之。換言之，功能效能(functional performance)指的就是物品提供功能的能力。

2.4 實體效能

實體是一個物品得以執行其需要的功能的載具(vehicle)，亦即物品的有形部分，由執行物品功能所需各項零組件所構成。實體效能(physical performance)即為此一載具讓功能得以實現所顯現出來的能力。一般實體效能包括內在的形式(form)和外在的配合(fit)兩部分。內在形式包括物品的形狀、尺寸等，外在配合則是指物品載具與物品使用載台(platform)的介面關係配合情形。

2.5 使用度

使用度(usability)的定義為「在內部條件下，滿足指定定量特性之服務需要的能力(ability)」。所謂內部條件指的是物品構成組件的完好或有缺陷狀況。類似的名詞有設計能力(capability)、設計足夠性(design adequacy)或功能度(functionality)。

2.6 可靠度

可靠度(reliability)為可靠度效能的量測指標，其定義為：「物品於既定的時間內，在特定的使用(環境)條件下，執行特定性能或功能，圓滿成功達成任務的機率」。一般以平均失效間隔時間(MTBF)為其代表量度指標。

2.7 維護度

維護度(maintainability)為維護度效能的量度指標，其定義為：「在指定的使用條件下，應用規定的程序與資源在指定的條件下執行維護工作，使物品維持或恢復至能夠執行需要功能的狀態的能力。一般以平均修復時間(MTTR)為其代表量度指標。

2.8 支援度

支援度(supportability)為維護支援效能的量度指標，其定義為：「當需求單位提出要求時，在指定的條件下，維護單位根據指定的維護政策提供維護物品所需資源的能力」，其中「指定的條件」與物品本身的狀況及物品使用和維護的條件有關，一般以平均待援時間(MTTS)為其代表量度指標。

2.9 可用度

可用度在應用上區分為操作可用度(operational availability)與固有可用度(inherent availability)兩種。

操作可用度的定義為：「在實際的支援環境與操作條件下，裝備在任何瞬間或時刻能夠正常開始操作的機率」。在同時考慮預防維護與改正維護的維護政策下，裝備的可用時間為平均維護間隔時間、停用時間為平均停用時間。因此，操作可用度可以用下式表示：

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}$$

式中MTBM = 平均維護間隔時間(mean time between maintenance)，為維護行動所需時間(包括預防維護(PM)或改正維護(CM)、或兩者)的機率平均值。當預防維護停用時間為零或可以忽視不列入考慮時，MTBM = MTBF。

MDT = 平均停用時間(mean down time)，除平均改正維護時間與平均預防維護時間之和外，還包括平均供應延誤時間(supply delay time)與平均行政延誤(administration delay time)時間。

根據已知的操作可用度需求(A_o)及平均停用時間(MDT)資料，即可求解平均維護間隔時間(MTBM)。

固有可用度(A_i)的定義為「在理想的支援環境與操作條件下，裝備在任何瞬間或時刻能夠正常開始操作的機率」。在評估時，定期或預防維護停用時間、備便時間、供應時間、等候或行政停用時間等不列入計算，同時，在理想支援環境的假設下所有必需的工具、零件、人力及手冊等一應齊全備便。固有可用度可以用下式表示：

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

式中MTBF = 平均失效間隔時間

MTTR = 平均維復間隔時間，根據顧客對於系統的維修政策或過去經驗而決定。

由固有可用度評估值可以決定設計結果達到維護度與可靠度目標的程度。因此，在裝備規範中可以加入可用度的條款，作為維護度與可靠度之設計與驗證需求。當MTTR 保持常數時，增加 MTBF 可以增加固有可用度，而 MTBF 為失效率的函數，因此，精進裝備的可靠度可以改善其可用度；但是，由於裝備的複雜程度與技術水準的限制，要藉由提高 MTBF 值而達到需要的可用度需求並不是一件簡單的事，因此，有時必須降低 MTTR 以滿足嚴格的可用度需求。

操作可用度為已開發裝備有意義的系統有效性參數之一，其最大值視裝備部署使用規劃作業的結果而定。在研發初期，因為設計隨時有變更的可能，對設計者而言，其應用意義比較有限，相形之下，固有可用度對設計者比較重要，因為它可以提供裝備有效性的初期量測值。

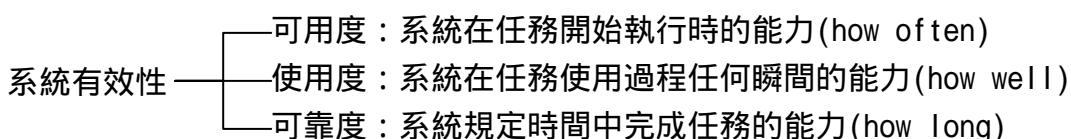
2.10 可恃性

可恃性效能的定義為：「用來描述可用度效能及其影響因子(可靠度效能、維護度效能及維護支援效能)之集合名詞」。一般而言，可恃性只是用來做一般性描述的非定量名詞。

2.11 有效性

有效性(effectiveness)效能的定義為：「物品滿足指定定量特性之服務需要的能力」，此一能力包括物品的使用度、可用度及可靠度的綜合效果。當討論的物品為系統時，此一效能指標又稱為系統有效性(system effectiveness)。

對於系統有效性的定義有裘蘭、ARINC、美國空軍、海軍等不同的模型。簡單的說，系統有效性可以下列關係加以說明：



換言之，系統有效性(SE) = 可用度(A) × 使用度(U) × 可靠度(R)。

2.12 成本效益分析

系統有效性(system effectiveness, SE)的定義為在特定的使用與環境條件下，系統操作一段規定時間，能夠成功的滿足操作需要的機率，因此有人稱系統有效性為廣義的系統可靠度。系統有效性配合系統的生命週期總成本(life cycle cost, LCC)，可以推算系統成本效益(Cost Effectiveness)，是管理決策相當重要的指標。生命週期總成本與成本效益分析為價值分析與價值工程(Value Analysis and Value Engineering, VA & VE)領域的主要研究項目之一，必須考量產品生命週期的使用度或設計能力、可靠度、維護度、可用度、支援度、生命週期成本等效能量度指標，各項衡量指標之間的關係如圖 4 所示。

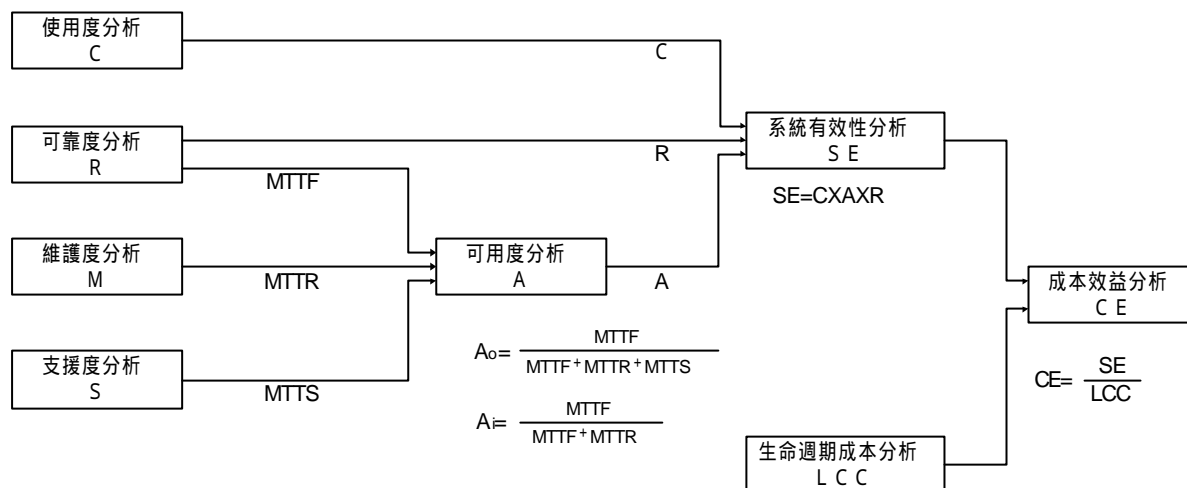


圖 4：基本成本效益分析各種指標之介面關係

2.13 各種時間效能間之關係

就系統與裝備的生命週期及時間效能特性關點加以分類，一般產業可以分太空衛星裝備(space and satellite, S)、國防航空裝備(military and aircraft, M)、工業裝備(industrial, I)及商用民生裝備(commercial, C)等四類。這四類裝備的可靠度、維護度及支援度等三種效能之關係及其設計邏輯如圖 5 所示，其中以可靠度效能(R)、維護度效能(M 及支援度效能(S)為重要的項目。

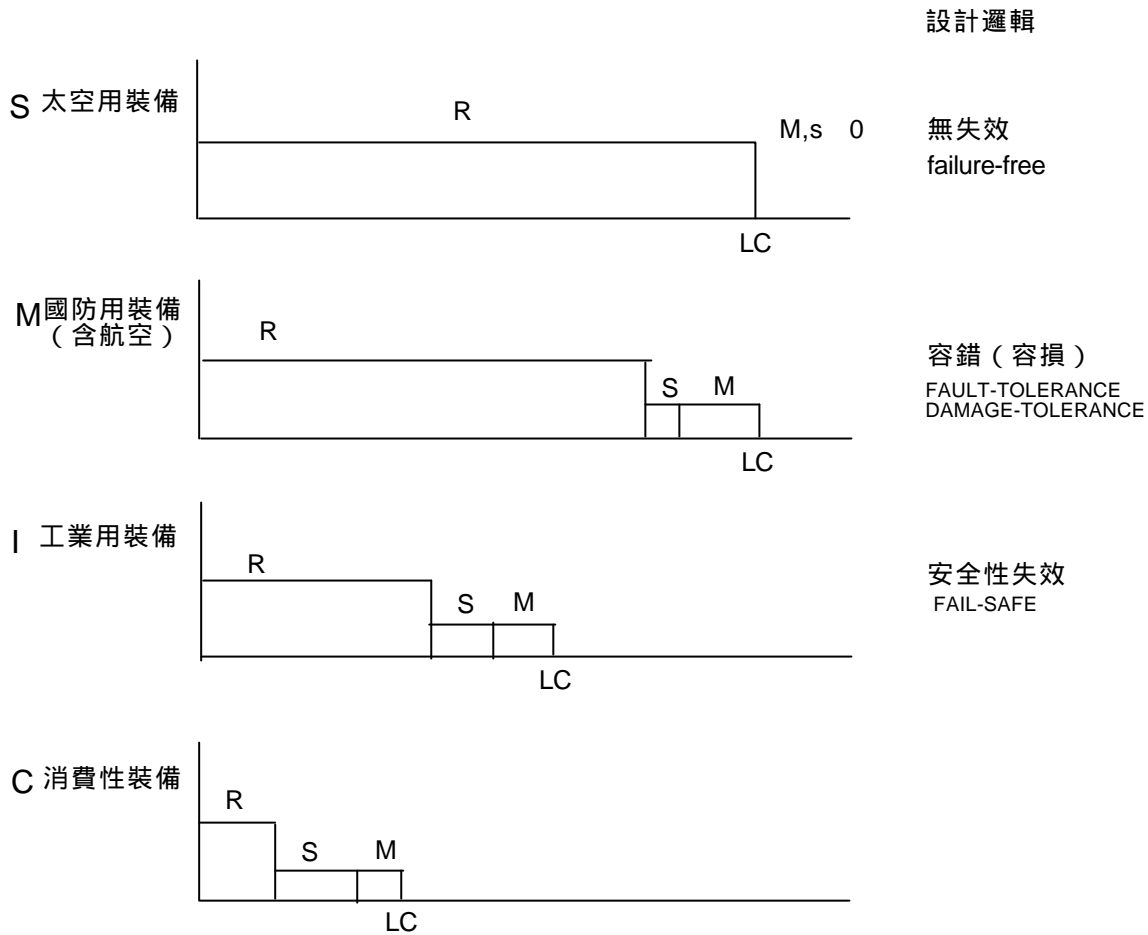


圖 5：不同系統之可靠度、維修度與支援度需求

3 可靠度定義與要素

從表面字義可知可靠度的涵義，然而可靠度既然是一門科技學門，而且在工業社會中扮演著極為重要的角色，因此有必要深入瞭解可靠度的定義。可靠度定義最早是由美國國防部 AGREE 所提出的，後來的美軍標準、國家標準、國際標準或技術文件等所提出大多以該定義為基礎而予以衍生或擴充。

近年來，ISO 9000 品質風潮，人們對於物品的可靠度要求不再以單純的任務階段為重點，改以使用者擁有產品的全壽期時間為主，逐步擴大至全生命週期的考量，因而引申出新的、較為宏觀的範疇，重新予以定義，擴大可靠度的涵蓋層面，以可恃性取代之。

3.1 可靠度定義

1952 年美國國防部成立了一個顧問小組(AGREE)，研討電子裝備可靠度問題，這個小組的研究結果與報告成為今日產品可靠度技術的基礎。AGREE 賦予可靠度之定義為：「物品於既定的時間內，在特定的使用(環境)條件下，執行特定性能或功能，圓滿成功達成任務的機率」。除了上述定義之外，各國國家標準或專業機構亦對可靠度有著類似的定義，以下列舉說明之。

歐洲品管組織(European Organization for Quality Control, EOQC)在 1965 年時對可靠度的定義為：「當需要時，產品在規定的環境下成功地執行其功能一段期間的能力的度量，以機率來量測之」。

美軍手冊 MIL-HDBK-217B (1970)對可靠度所下的定義為：「物品在規定的使用與維護條件下，能夠執行其功能持續一段規定的變數(如時間、距離等)量度的機率」。

英國標準學會(British Standard Institution, BSI) 在 1971 年時對可靠度的定義為：「物品在規定的條件下執行需要的功能一段時間期間的機率」；而英國國防部在英國國防標準 Def Stan 00-05-1 Issue 3(1979)所下的定義為：「物品在規定的條件下執行或可以執行需要的功能持續一段規定的時間期間或操作單位的能力，此一能力可以用機率表示」。

如前所述，日本稱可靠度為「信賴性」，日本國家標準 JIS Z 8115：「可靠度用語」中所下的定義為：「在規定條件下，物品在規定期間中能達成要求的功能之性質」；而在由真壁肇主編的「可靠度管理手冊」中對可靠度做了更進一步的詮釋為：「產品出廠後，經過長時間使用，性能能夠充分地發揮而達成任務之能力，亦即對物品施以規定的環境條件、在規定的時期中能完成所要求的性能的性質」。

我國的中國國家標準 CNS 11381(1985)：「可靠度詞彙」中所下的定義為「產品於規定時間內，在所要求之環境與所給予之條件下，達到所要求機能之機率」。

美國通用動力公司在 1992 年出版的「實用可靠度工程手冊」中對可靠度所下的定義有二：其一為「物品在規定的條件下，可以執行其希望的功能持續一段規定的期間的機率」；另一為「在規定的條件下無失效性能的機率」。前者適用於採用複聯設計的物品，此一機率又稱為任務可靠度，後者為非複聯設計物品或單次功能物品的定義。

大陸在 1992 年出版的「品質管理辭典」中對的可靠度的定義為：「產品在規定時間內和規定條件下，完成規定功能的能力，可靠度研究隨著科學技術發展和社會需要逐步形成一門新學科，可靠度術語也同作可靠度特性，用以表示成功的機率或成功率」。

3.2 可靠度要素

由上節對於可靠度的定義不難看出，基本上，可靠度有其討論的對象：物品或產品，並且是由功能、條件、時間、和能力或機率四個要素所組成。

廣義而言，可靠度的對象為物品，國際電工委員會(International Electrotechnical Commission, IEC)發行的 IEC 50(191)對物品(item)所下的定義，「物品為零件(part)、元件(component)、裝置(device)、組件(assembly)功能單機(functional unit)、裝備(equipment)、子系統(sub-system)或系統(system)中任何一項可以單獨考量者」。一個物品可能是上述中的任何一項或是組合情形，可能是由硬體(hardware)、軟體(software)或兩者所構成的，在特殊的情形下也可能包括人員(people or human)。可靠度的對象有稱為產品，產品通常指的是最終物品(end item)，不過在一般情形兩者並沒有明確的區別，是可以互用的。物品根據是否可以維修分為可維修物品(repairable item)及不可維修物品(non-

repairable item)，有的不可維修物品只能使用一次，因此又稱為單次功能物品(one-shot item)；若根據其失效後是否進行修復工作，可分為已修復物品(repaired item)或不修復物品(non-repaired item)。

在可靠度的四個要素中，能力(ability)或機率(probability)為表示產品可靠度的整體指標。能力指的是物品執行某項規定的或需要的功能，為定性且較為廣義的定義；機率則是此一能力的定量量度(measure)指標。近年來，模糊數學(fuzzy)普遍用於表示介於 0 與 1 之間的特性，因此，亦有人以 fuzzy 來表示可靠度。當以機率表示可靠度時，在機率理論與數理統計上，是屬於條件機率(conditional probability)的問題，特別強調使用或考慮可靠度瞬間之前(初始條件)及過程(環境)的條件。不同的初始條件或不同的使用條件，即使是同一個物品，所顯現之可靠度值(機率)亦不相同。

功能(function)亦稱之為機能或性能，是物品開發製造最重要的目的。根據定義「物品喪失功能的狀態」也就是故障(disabled)或失效(failure)，功能正常或失效之定義需視產品設計製造所建立的能力(capacity, supply, strength)與使用者的需求(requirement, demand, stress)而定，不同的定義，產品會有不同的效能函數(performance function)，亦即產品供、需之間的交互關係。例如，電視無畫面，當然是故障或失效，但是畫面歪斜是否定義為失效就因人而異了。因此，失效定義必須相當明確，以免造成後續可靠度評估、驗證及產品責任(product liability, PL)之困擾。

時間是可靠度的重心，在討論可靠度時的時間指的是一段時間期間(period of time)或時間區間(time interval)，而不是時間瞬間或時刻(instant of time)，當然時間不一定是指時鐘所表示的「時間」，舉凡與時間有關的參數，如操作時間、操作次數、反覆次數、距離、里程數、或發數等皆屬之。因此，有人認為可靠度是出廠後時間的品質，而稱可靠度為時間品質或時間效能(performance over time)。時間必須由物品的生命週期(life cycle)定義來決定，有的可能是全部生命週期，長達數年；有的可能只是生命週期中的某一階段，例如任務階段(mission phase)，只有數秒或數分鐘。在實際應用上，依照物品在執行任務功能之初的狀態又可區分年紀(age)與工作時間(duty time)兩種，年紀是說明在時間方面的初始條件，為日曆時間(calendar time)；而工作時間為物品實際執行功能的時間。

可靠度定義的第四個要素為條件，由定義可知，條件包括工作條件、環境條件和維修(maintenance)條件。工作條件主要是指物品在工作循環時的動力及控制條件，如一般設備的開、關循環，電子設備的電壓、電流、控制訊號，汽車引擎的油與空氣等。環境條件除了溫度、濕度、氣壓、鹽霧、日曬、雨淋、加速度、振動、衝擊、音響、電磁干擾及核輻射等環境(environmental)。環境條件和工作條件必須依據產品的生命週期定義，經過環境輪廓分析而決定其項目及水準。維護條件包括預防維護、改正維護、定期保養、檢測等維護政策所決定的各種條件。

4 可靠度量度與指標

如前所述，為滿足基本任務需要，物品的必須包括無形的功能(functional)效能與有形的實體(physical)效能兩種能力，兩者在國人習慣通稱為性能效能，其量度值稱為性能指標。不同產品按其用途都有各自的性能指標，如電冰箱有容積、降溫、耗能等指

標；電視機有影像、音質、選擇性、靈敏度等指標；雷達以其發射及接收距離、功率、頻寬等為指標；汽車的指標諸如速度、扭力、載重、煞車距離等。

可靠度則是物品的另一種內在的、實質的(intrinsic)、固有的(inherent)屬性，它表徵物品長時間保有上述性能指標的能力，為在設計時就必須將之導入的特徵。儘管性能指標可能因物品不同而表現得千差萬別，但人們在使用它們時總有一個共同的要求，希望它們經久耐用，甚至於像火柴、炸藥等一次性使用的物品，人們也希望它們可儲存一定時間(儲存可靠度)，並且隨時在有需要時能提供使用、完成任務。可靠度正是反映人們對不同產品的這種共同要求，它與時間緊密相關，即可靠度是產品在給定時間內、在預期的使用條件中能正常工作的能力。近些年來，可靠度指標已成為許多物品的重要技術指標之一。

可靠度與性能效能指標不同：

- (1). 可靠度指標是一個綜合性的品質指標，它建立在性能指標都滿足使用要求的基礎上，因此，離開性能指標就談不上可靠度。
- (2). 性能指標參數可在物品使用之前，用量測儀器從每個物品上直接測得，而可靠度的指標參數則不能用儀器從某一個物品上直接測得。它們要根據在各種實際的或模擬的使用或操作下，觀察或測試的數據進行統計推論而得到的資訊。

為了能明確判定物品之可靠度水準，可靠度需求必須以定量的數值加以規定，常見的可靠度指標有下列數種：

- (1). 成功機率(Probability of success)(%)， P_s ；
- (2). 存活機率(Probability of survival)(%)， $P_s(t_m)$ ；
- (3). 平均失效時間(Mean time between failure)， θ ；(小時、次數、里程數、複印數)；
- (4). 可靠度係數(Reliability index)， δ ；
- (5). 失效率(Failure rate)(次數 / 百萬小時)， λ ；
- (6). 不良率(Defect rate)， p_o 。

前二項係就可靠度的基本定義而定，為就任務執行觀點直接表示的方法；後四項係根據可靠度定義與假設失效或壽命特性(亦即可靠度變數)的機率分佈而間接推導之可靠度參數，若要直接以機率來表示物品的可靠度，則必須先確定系統之可靠度函數及規定之操作使用需求。第三、四兩者為單機、元件層級，以(輸出)功能為主的表示方法，而最後兩項則是物品基本能力(從負面觀點)的表示方法。

4.1 固有可靠度與操作可靠度

系統或裝備在假設的規定任務定義條件下所得到的可靠度值稱為固有可靠度(inherent reliability)，記為 R_i ；而由顧客或使用者實際操作所獲得的可靠度評估值一般稱之為操作可靠度(operational reliability)，記為 R_o 。

對於產品的研製者而言，有關可靠度的需求在產品開發的概念定義階段就必須有明確的定義，才能據以進行後續的設計與發展工作，因此，固有可靠度又稱為合約可靠度(contract reliability)，強調其為生產者與使用者雙方協議的可靠度規格，而產品在實際使用時所展現出的可靠度水準會因為使用時的環境條件、使用者的維護保養、儲存運輸處理等是否遵守規定而有所差異，固有可靠度與操作可靠度之間的差異有人稱之為使用可靠度(use reliability) R_u ，此乃因為在評估時同樣以機率來表示，亦即 $R_o = R_i \times R_u$ ；也有人認為使用可靠度是一種修正係數(k)，則操作可靠度與固有可靠度的關係為 $R_o = k \times R_i$ 。

影響固有可靠度的因子分為設計與製造兩方面，設計因子包括：簡單化與模組化、減額定與安全係數、環境效應與防制、複置設計、人性因子與人員工程、檢測與維護設計、安全設計與容錯設計等，製造因子包括：材料與零件選用、製造與處理程序、加工與裝配程序、檢驗與測試程序、作業管理、品質管制、人員工程等。影響使用可靠度的因子可分為工作、維修及環境等三方面，工作因子包括：操作手冊、操作程序、操作訓練、人員士氣、與工作紀律，維修因子包括：維修手冊、維修程序、維修訓練、備份件準備、機具設施等，環境因子包括：儲存與運輸、包裝與安裝、操作與使用等。

固有可靠度與操作可靠度之特性可歸納說明如下：

(1). 固有可靠度

- a. 用於定義、量測與評估研發產品可靠度水準所使用的指標；
- b. 根據操作需求所推導而得；
- c. 若可達成此項需求，則可推測產品可以滿足操作可靠度；
- d. 只涵蓋設計與製造特性，且僅計算在合約中列管的失效項目。

(2). 操作可靠度

- a. 為描述在規劃的實際操作環境下，產品的可靠度水準；
- b. 不可以作為合約可靠度需求(必須經過轉換)；
- c. 用以說明產品在實際操作時所需要的可靠度水準；
- d. 包括產品設計、製造、安裝、環境、維修政策、修復等之綜合效應。

4.2 基本可靠度與任務可靠度

在 USAF RADC(Rome Air Development Center)的可靠度資料及美軍標準 MIL-STD-756 之定義，系統與裝備的可靠度分為基本可靠度(basic reliability)與任務可靠度(mission reliability)。基本可靠度在軍用產業又稱為後勤可靠度(logistic reliability)，對於一般民用產業則稱為售後服務可靠度(after service reliability)。

對於系統而言，基本可靠度作為執行後勤支援分析或售後服務分析、規劃預估備份件(spare parts)的輸入參數資料，在固定的產品能力假設下，較低的基本可靠度可以有效地發揮售後服務的成效。任務可靠度則為規劃行銷計畫、推測任務成功或顧客滿意的管理決策引用數據，因此其數值愈高愈好。

基本可靠度與任務可靠度之定義與特性可以下列說明加以區別：

(1). 基本可靠度

- a. 為不考慮後勤支援或售後服務情形下，產品操作能力的量度指標；
- b. 考慮所有(不論其對工作目標的影響為何)需要後勤支援或售後服務之失效所衍生的影響；
- c. 會因為採用複置設計而降低可靠度數值；
- d. 通常小於或等於任務可靠度。

(2). 任務可靠度

- a. 為產品完成任務工作能力的量度指標；
- b. 只考慮無法達成任務工作目標的失效；
- c. 會因採用複置設計而提高可靠度數值；
- d. 通常高於後勤可靠度。

5 可靠度需求展開

與品質機能展開一樣，可靠度機能展開可分為可靠度需求規格展開與可靠度工作機能展開兩部份。有關可靠度工作機能的展開部份，其重點在於可靠度工作的規劃與管理，一般是以可靠度計畫方案或可靠度工作計畫來推動與管制，此部份詳細可參考討論「可靠度工作規劃」或「可靠度管理技術」有關章節之說明；至於可靠度需求規格展開部份，其重點則在於如何有效的擬訂系統與裝備的可靠度需求規格，做為研究設計發展之依據。日本在推動品質機能展開時，亦將可靠度機能展開納入為其中的一環。不過日本在規劃可靠度機能展開時，只考慮 FMEA 及 FTA 兩項工作，事實上這只是可靠度工作「機能」的兩項工作而已，至於有關如何展開可靠度需求規格部份，則在一般文件很少見到有關的討論。以下針對此一展開過程的注意事項及發展程序做一扼要說明。

5.1 發展系統可靠度規格注意事項

在一般可靠度規格發展過程中，必須注意的關鍵重點包括：

(1). 顧客或使用者需求

顧客或使用者需求可以用各種不同的方法來表示，例如包括任務可靠度與後勤可靠度需求的組合(亦即生命週期可靠度)，或者是結合可靠度與維護度需求，而以可用度指標來表示。一般常用的操作術語例如平均維修時間、平均關鍵失效時間等，必須根據它們與操作可用度(A_0)與使用中斷率、當機率等之間的關係來作轉換，如此才可以獲得能夠規定在合約中的參數。

使用者對於產品可靠度的需求大部份是定性的描述，只有少數以定量的方式說明，但大多不夠齊全。可靠度機能展開最重要的步驟就是將顧客的操作使用需求(顧客的聲音)轉換成研製者或生產者的需求(系統需求)，亦即合約可靠度需求，如此研製的設計與驗證工作(決定設計特性與參數)才有所依循。

一般而言，顧客或使用者的可靠度需求來源可歸納為顧客提供、自主開發、技術移轉或委託代工、現貨、標準與協定、及法令規章等型式，各種型式簡單說明如下：

- (1). 顧客提供：主要為合約型產品，這種產品的可靠度需求，通常都是由顧客在邀標書的採購文件中明白規定。
- (2). 自主開發：主要為市場型產品，這種產品的可靠度需求必須由供應者的市場部門配合工程部門，根據市場調查結果加以制訂。
- (3). 技術移轉或委託代工：技術移轉或委託代工的可靠度需求通常標記在由技術提供方所提供的產品規範或製圖中。
- (4). 現貨：現貨商品，這類物品的可靠度主要是根據過去使用履歷而建立。
- (5). 標準與協定：經過標準化組織建立的可靠度需求，通常有等級規定，供應者或需求者依據可靠度等級標示或要求物品的可靠度水準。
- (6). 法令規章：通常是指安全相關的產品，其可靠度需求幾乎就是安全度要求，由於事關人命與財產，因此通常由政府機構以法令規章方式，規定這種產品的可靠度需求。

(2). 合約可靠度需求轉換

由於操作可靠度的量度值所必需考量的因素是遠超過研發承約者所能控制的範圍，因此顧客的操作使用需求必須轉換成合約可靠度術語的需求值，如此承約者在研發設計與驗證時才有依據。

(3). 合約可靠度需求實際性評估

在還沒確定合約可靠度需求之前，需求轉換的工作是不能算結束的，評估轉換得的合約可靠度需求的合理性是必要的步驟，評估時必須回答的問題例如：確定的需求是否與現有的技術水準相匹配？是否會造成設計時不必要的困擾？例如與重量和功率等系統限制條件衝突？考量技術精進的可能性與不同操作環境條件、工作循環等的適用彈性，可以採用適當的調整係數。

一般考慮技術精進的可能性，選用 10 ~ 20% 的可靠度精進調整係數是合理的假設。這類評估、改變、調整等工作是一種反覆性的過程，可能要經過數次的嘗試，才會得到最終的結論。當需求肯定無法達成時，必要時還必須與顧客作面對面的溝通、談判，以便獲得妥協、折衷的需求。

(4). 顧客特殊關鍵任務需求考量

當顧客規定有特殊的關鍵任務需求時，系統可靠度需求發展的難度較高，例如具有複聯設計的系統，其失效時間或壽命為非指數分佈，習用的轉換模式中就無法考慮這種情形，不過由於複聯系統的可靠度比串聯系統高，因此可以採取近似的估算，將複聯途徑的等量失效率視為零，轉換時只考慮剩下來的串聯元件部份。

(5). 顧客需求模糊之考量

當顧客的需求規定不清楚、模糊，甚至於有的根本沒有規定，這種情形至少要求顧客提供有關後勤可靠度的資料，如此承包商在後續研製過程才有相當程度的計算依據，因而可以花更多的功夫在可靠的系統設計上。

在發展系統的可靠度規格時，最重要的考量因素為必須真正地考慮實際的需要，而且要符合現有的設計技術水準，否則所訂定的需求目標不是無法達到，就是要花費龐大的時間與金錢才能達到。

為使後續系統的合約可靠度有著明確的定義，在簽定合約條款之前，顧客必須說明或提供系統任務定義、檢測能力、維護政策及支援作業定義等需求資料。這些項目的確定，其關鍵在於產品的市場調查階段時就必須建立完整的概念，才能夠順利進行後續的可行性分析(feasibility study)與擇優研究(trade-off study)，建立合理的可靠度需求與規格。

5.2 可靠度規格發展程序

一般系統可靠度需求發展的程序包括下列步驟：

- (1). 確定物品的功能、物體型態與系統界面；
- (2). 定義設計功能特性與失效準則；
- (3). 定義生命週期、任務輪廓、工作循環與操作時間；
- (4). 定義預期的工作、環境與維修條件；
- (5). 確定可靠度規格。

可靠度需求規格展開之流程如圖 7 所示。

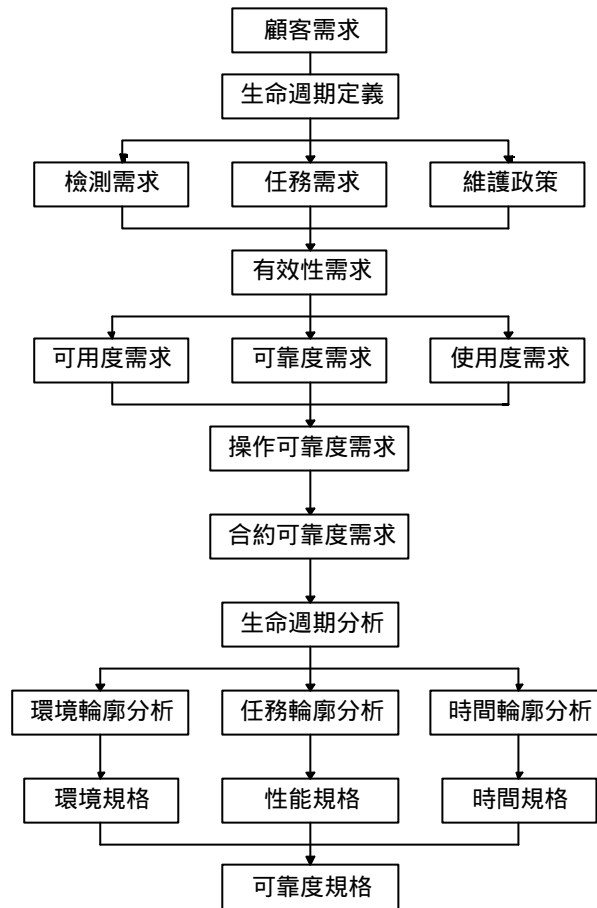


圖 7:可靠度需求規格展開流程

5.2.1 確定物品的功能、物體型態與系統邊界

發展可靠度規格最首要之工作為確定對象物品的定義，說明物品的功能與物體型態需求，以及系統之界面關係。功能型態(functional configuration)說明系統之主要功能；物體型態(physical configuration)一般是指系統之最大尺寸、重量，安全條款，人性因子限制條件，材料能力極限等；而系統邊界則包括：功能界面、連接界面、交互作用界面及人機界面等。

5.2.2 定義設計功能特性與失效準則

發展可靠度規格的第二項工作為界定物品的使用情形、任務功能及操作模式。關於系統或裝備的重要功能參數必須建立清楚、不含混的「失效」定義，系統或裝備成功的性能範圍應該明確的規定，而且必須是執行驗證試驗時可以量測的數值。

功能參數的量測值，一般可分為「過 / 不過」性質的計數型功能和以連續數據表示的計量型功能兩種。過 / 不過的計數型功能失效，例如頻道切換、目標獲得、發動機點火、彈頭引爆等等，一般相當容易量測與定義，決定是 / 否的決策界線。相反地，計量型的功能特徵失效，要訂定超出後系統的功能後就不能滿足的規格界限，就

相對的困難多了，允收的功能範圍乃是指當實際的功能量測值超出此一範圍後，系統的任務就會衰退到不可接受的地步。

5.2.3 定義生命週期、任務輪廓、工作循環與操作時間

根據系統任務目標，確定其生命週期，決定主要的任務輪廓，工作循環(duty cycle)及操作時間(operating time)。

時間對於定量的可靠度敘述是最重要的，它是可靠度函數的獨立變數。然而，從全程的觀點來看系統的使用情形，時間在表示可靠度的方法中只是整體的一部份。對於系統設計不是連續操作使用的情形，全部預期的操作時間輪廓或時間次序是以工作循環或輪廓圖表來加以定義的。

可靠度為與產品時間習習相關的特性，要瞭解產品可靠度，自然必須先清楚時間問題。就顧客的觀點，從開始擁有到結束擁有物品的整個生命週期，不僅在不同時刻使用，會有不同的可靠度表現，使用時間的長短也有可能影響產品後續的使用可靠度。因此，有必要對系統生命週期之構成及其定義先行瞭解，以利後續可靠度相關技術之發展與應用。

5.2.3.1 生命週期定義

生命週期(life cycle)對系統與裝備的研發與生產而言有兩方面的意義：一為系統生命週期(system life cycle)，另一為產品生命週期(product life cycle)。

系統生命週期是指系統由概念設計，一直到改良或除役報廢為止的全部過程。系統階段的劃分種類相當多，主要是依照計畫特性而定，一般大致分為概念設計、展示確認、工程發展、生產安裝、操作支援等五個階段。其中工程發展階段亦可再細分為原型發展及先導生產兩個階段。

產品生命週期是指產品從材料、零件採購加工、生產製造、裝配組合、安裝部署、儲存運輸、到最後使用或除役報廢的整個過程，此一定義係針對實體產品而言，亦即「從搖籃到墳墓」的過程。

一般產品的生命週期，如圖 1 所示，可分為後勤週期(logistic cycle)與操作週期(operational cycle)兩大部份。對一般產業而言，後勤週期又稱為銷售服務(after sale service)週期。

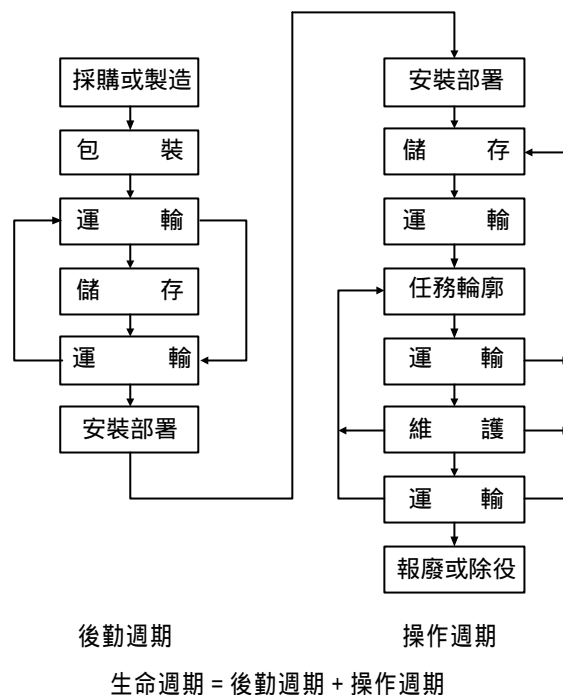


圖 1: 系統與裝備典型的生命週期

5.2.3.2 系統狀態與時間定義

系統或裝備可分為正常(normal state)與失效(failure state)兩種狀態，正常狀態又稱為成功狀態(success state)或可用狀態(up state)。可用狀態依產品的工作模式(operational mode)分為不操作狀態(non-operating state)和操作狀態(operating state)等狀態。操作狀態依任務所需操作條件不同，大致可區分為正常(normal)操作、高(high)操作及低(low)操作三個水準。不操作狀態依任務需要程度又分為自由狀態(free state)和備用狀態(standby state)；備用狀態又稱為怠惰狀態(dormant state)，與自由狀態的差異，以電子裝備為例，表示電源已接上，處於隨時可以進行操作使用的狀態。備用狀態與操作狀態又合稱忙碌狀態或工作狀態(busy state)。系統與裝備的各種狀態與時間的變化關係如圖 2 所示。

有些物品在經歷數次必需的任務循環之後會因物品的實體部份突然或逐漸劣化，而使功能退化(degradation)，最後變成故障狀態(troubled or disabled state)或失效狀態(failure state)。當物品進入故障狀態之後，可藉由維護(maintenance) 與支援(support)作業，使之儘速恢復至可用狀態。一般維護作業分為預防維護(preventive maintenance)與改正維護(corrective maintenance)兩類；而支援作業包括供應支援(supply support)及行政支援(administration support)兩類，一般統稱為整體後勤支援(integrated logistic support, ILS)。在物品恢復至可用狀態之前的狀態稱為停用狀態(down state)。

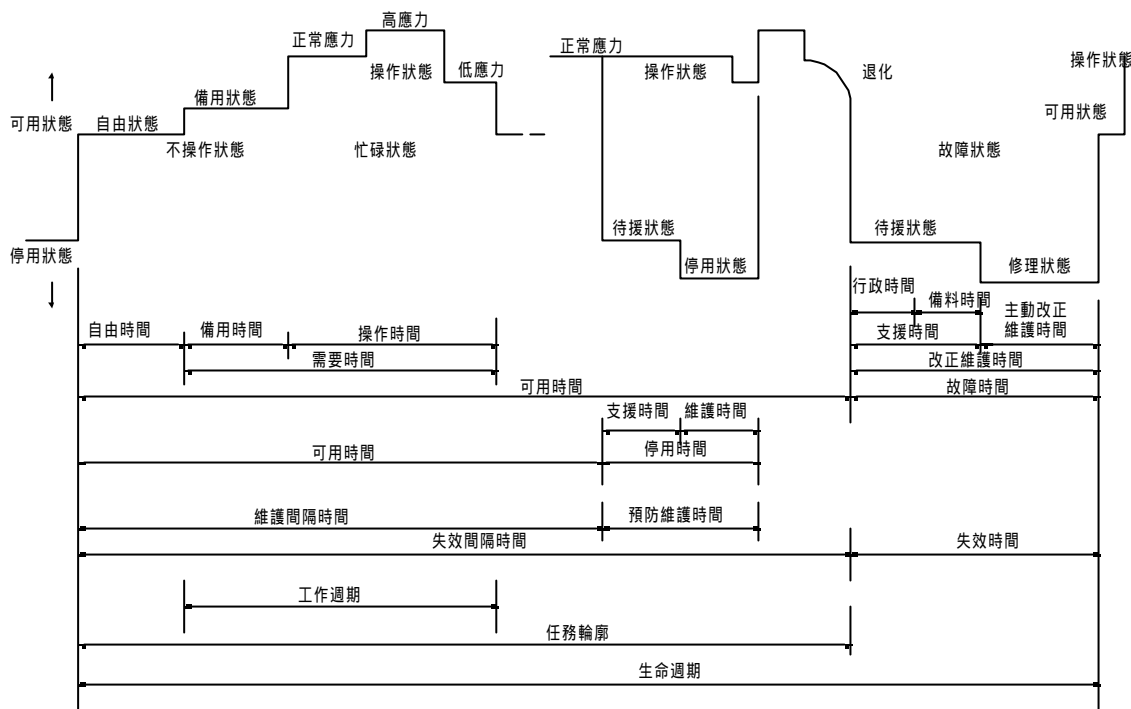


圖 2：系統狀態隨時間變化關係

系統的每一個狀態都有其相對的時間，例如操作狀態對應操作時間(operating time)，備用狀態對應備用時間(standby time)，自由狀態對應自由時間(free time)，依此類推。備用時間與操作時間之和稱為需要時間(required time)，此一時間構成物品的工作循環(duty cycle)。停用時間(down time)，包括維護時間(maintenance time or restore time)、待援時間(support time)。由不操作(含惰態)與操作狀態所構成可用時間一般又稱為任務循環(mission cycle)或任務輪廓(mission profile)。可用時間與停用或故障時間即構成物品的生命週期(life cycle)的一個循環，或物品在其生命週期中只有一次任務循環者稱為單次功能物品。

以上所述為國際電工委員(IEC)對於系統狀態與時間之定義。另外，美軍標準 MIL-STD-721 規定之各種時間定義如下所述，各種時間之間的關係則如圖 3 所示。

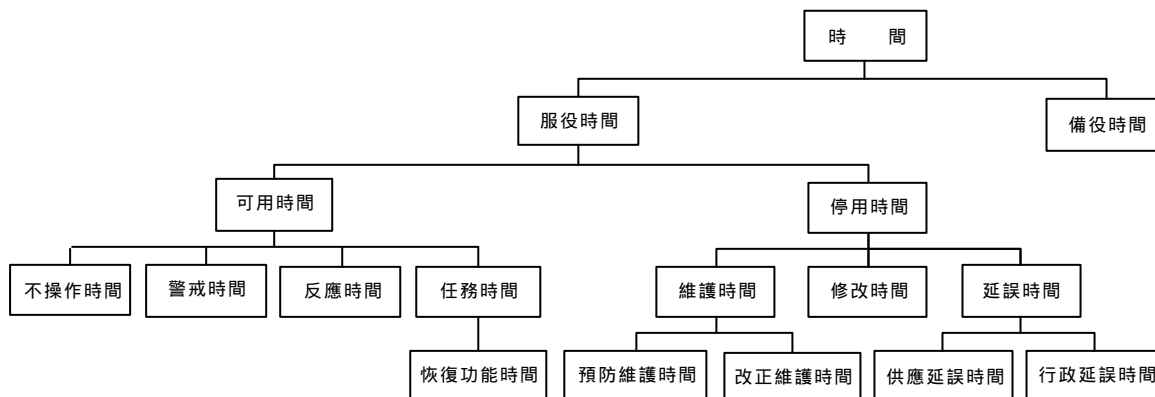


圖 3：產品生命週期之時間分類

備役時間：	物品在預備狀態的時間。
服役時間：	物品在可操作狀態的時間。
可用時間：	服役時間中物品執行規定功能所需的時間。
不操作時間：	使用時間中物品不需要操作的時間。
警戒時間：	使用時間之一部份，為物品在特定的操作狀況下等候命令執行指定任務所需之時間。
反應時間：	使用時間中由接受命令到開始執行任務所需時間。
任務時間：	使用時間中執行規定任務輪廓所需之時間。
停用時間：	服役時間之一部份，物品不執行規定功能的時間。
檢查時間：	維修時間之一部份，在特定的狀況下驗證物品性能之時間。
修改時間：	停用時間之一部份，精進物品特性或增加新項目所需時間。
延誤時間：	停用時間之一部份，為由於供應或行政延誤的緣故，物品不作維修的時間。
供應延誤時間：	停用時間中等後更換件所需的時間。
行政延誤時間：	延誤時間之一部份，不包括供應延誤時間。

5.2.4 定義預期的使用、環境及維修條件

可靠度規格必須涵蓋物品的操作使用條件、在儲存、運輸和操作等整個生命週期所有可能遭受到的環境條件，以及在使用時的檢測維修條件。這些使用、環境與維修條件都會影響物品失效的機率，亦即物品的可靠度。有關規格的敘述，應該以標準術語來說明，亦即物品要達成規定之性能的所有使用、環境與維修條件。

環境條件應該包括溫度、濕度、壓力、周圍光線、標高位置、氣候(風、雨、雪)衝擊、振動、穿透 / 磨蝕等項目。這些條件，除可由顧客或使用者提供外，另外亦可參考相關軍用規範、標準或手冊，工業標準，國家標準及其他法令規章，例如 MIL-STD-210、MIL-STD-810、MIL-HDBK-781、IEC 68、IEC 721 等。環境條件有敘述法與表列法兩種表示方法。敘述法主要的說明系統在使用時可能遭遇的預期操作條件。例如：(a) MK 000 計算機將安裝在飛機內具有溫度控制的位置。(b) X X 飛彈懸掛在發射架上後，必須具備忍受至少 3 小時的空中飛行環境的能力，這些環境條件包括振動、衝擊、高溫、低溫、甚至於在零下溫度氣後時的結冰狀況等。表列法則是利用明細表逐項說明各種環境與使用狀況的已知或預期範圍，當在操作期間環境隨時間改變時，例如在飛機的飛行階段，則還必須包括環境輪廓。

在維修條件方面主要包括檢測能力需求、維護政策定義及支援作業定義等。在檢測能力需求方面，須考量檢測方式是採用內建測試設備的自我測試或是外部測試，外部測試又分為自動測試和手動測試。在維修政策定義方面，須確定設備是可以維修或不可維修；而可以維修設備的預防維修與改正維修政策是如何。在支援作業定義方面，包括維修人力、備份件準備、訓練、手冊、工具、設施等定義。另外所有的檢測與維修作業大多需由人員來完成，因此關於人員工程及人性因子等需求亦應納入考量。

5.2.5 確定可靠度規格

可靠度規格展開的最後一個項目是根據上述所建立的性能規格、環境規格和時間規格需求下，確定量化的可靠度規格。一個完整的可靠度規格必須包括可靠度定義的四個要素，亦即：性能(包括功能及實體結構特性)、條件(包括使用、環境與維修)、時間(包括年紀及工作時間)、和能力或機率。

如前所述，對於系統及單次功能裝備多以成功機率或存活機率作為可靠度的衡量指標，單機層次則以平均失效間隔時間(MTBF)表示者居多，如表 1 所示；至於零組件層次則為失效率。

對於合約型產品，可靠度規格通常是規定在合約及產品規範或規格書中，一般較偏向定性的敘述，並且視為研製的目標之一，在研製過程中經過使用者的核可，承約者(contractor)可做適度的調整；而對於市場型產品，可靠度是不能變更的規格，一般則是規定在產品規範或規格書中。

不管是以成功機率、存活機率、MTBF、失效率或可靠度係數等參數中那一種來定量的表示物品的可靠度，可靠度需求的規格有兩種敘述方式：

- (1). 使用者滿意的標稱值(nominal)或設計值，或
- (2). 最小可以接收的數值，低於此一數值使用者認為此一系統完全不能接收，亦即無法在操作環境下使用，通常此一數值是根據實際操作需求而決定。

第(1).項為產品的可靠度設計目標，依美軍規格體系，應在產品規範(B 規範或 C 規範)的第 3 節「需求」中予以規定，而第(2).項為鑑證目標，應在規範的第 4 節「品質保證條款」中予以規定。

不論是使用那一種方式規定可靠度需求，有兩項基本原則必須考慮：

- (a). 當規定以標稱值為需求規格時，通常是規定系統設計時必須超過的下限值；
- (b). 當規定以最小值為需求規格時，最小值的定義必須很明確。

在這兩種方式中第一種是最好的表示法，因為它自動的說明了設計目標必須等於或大於某一最小值。

6 可靠度需求與規格擬訂案例

表 2 分別以自動提款機、電話系統、化學處理控制系統、電力系統、電視機、汽車電子引擎控制器、飛航管制系統、彈道飛彈系統、心律調整器、及電腦作業系統等 10 種設備，說明其可靠度需求與規格訂定之案例。

表 1 現代電子裝備已具備之可靠度水準

裝備名稱	MTBF(hr)	裝備名稱	MTBF(hr)
雷達系統		地用電腦裝備	
地用旋轉式莧索雷達	75 ~ 175	工作站	2,000 ~ 5,000
大型固定式相列雷達	3 ~ 6	個人電腦	1,000 ~ 5,000
地用戰術機動雷達	25 ~ 75	單色顯示器	10,000 ~ 15,000
空用戰鬥機火控雷達	50 ~ 200	彩色顯示器	5,000 ~ 10,000
空用莧索雷達	300 ~ 500	軟式磁碟機	12,000 ~ 30,000
空用識別雷達	200 ~ 2,000	硬式磁碟機	10,000 ~ 20,000
空用導航雷達	300 ~ 4,500	CD-ROM光碟機	10,000~20,000
通信裝備		磁帶機	7,500 ~ 12,000
地用收音機	5,000 ~ 20,000	低速點陣式列表機	2,000 ~ 4,000
地用手提式收音機	1,000 ~ 3,000	快速撞擊式列表機	3,000 ~ 12,000
空用收音機	500 ~ 10,000	熱感式列表機	10,000 ~ 20,000
地用電子干擾器	500 ~ 2,000	繪圖機	30,000 ~ 40,000
暖氣、通風與空調裝備		時鐘	150,000 ~ 200,000
空氣處理機	24,000 ~ 70,000	鍵盤	30,000 ~ 60,000
鍋爐	18,000 ~ 31,000	滑鼠	50,000 ~ 200,000
激冷器	18,000 ~ 82,000	數據機	20,000 ~ 30,000
壓縮機	34,000 ~ 66,000	雜項裝備	
冷凝器	26,000 ~ 200,000	空用反制系統	50 ~ 300
泵	31,000 ~ 143,000	空用電源供應器	10,000 ~ 50,000
發電機		地用電源供應器	10,000 ~ 50,000
柴油引擎發電機	465,000 ~ 780,000	電腦控制器	19,000 ~ 22,000
氣渦輪發電機	7,000 ~ 12,000	高壓變電器	179,000 ~ 12,000,000
馬達發電機組	5,000 ~ 30,000	不斷電電源供應器	38,000 ~ 785,000

表 2a：可靠度需求與規格訂定案例

編號	系統名稱	使用者	系統使用壽命	可靠度指標	可用度
1	自動提款機	銀行顧客	大於 15 年	自動提款機與銀行電腦之間的資料傳輸線路每 18 個月失效 1 次。 MTBF ≥ 18 月 $\lambda \leq 77.16 \text{ fr}/10^6 \text{ hr}$	需要較高的可靠度(較長的 MTBF)以補償由於安裝地點遙遠且數量多所造成的成本與維修 (MTTR) 服務延遲。
2	電話系統	電話用戶	大於 15 年	電子交換機系統在最大通話容量為每小時 500,000 通情形下，每年當機 3 分鐘。 $\lambda \leq 125 \text{ fr}/10^6 \text{ 通}$ $R \geq 99.9875 \%$	藉由複置設計安排、選用較高可靠度設備、及定期維修獲得高可用度。 $A_i \geq 99.4\%$
3	化學處理控制系統	工廠經理	大於 15 年	系統不能當機，除非主要機械次系統失效，或者不可靠度 $Q < 3\%$ 。 失效機率小於 3%	可靠度高、MTTR 短很重要，因為即使是很短的系統當機可能使整批產品報廢，或者破壞昂貴的設備，因而造成財務損失。
4	電力系統	消費者	大於 15 年	每個月停電 15 分鐘，當需求容量大於最大容量或颱風造成小配電區域停電。 $Q < 0.028 \%$	透過高度複置和定期維修，以及不同電力網路的電力共享，即使是使用中等可靠度也可使可用接近 100%。 $A_i \geq 99.99\%$
5	電視機	消費者	7 至 10 年，每年使用 2000 小時	保固期間 1% 至 3% 的電視機需要修理，或者系統可能可以繼續使用但是性能降低。 $Q < 1\%$ 至 3%	製造商的目標為在擁有者的最初 3 年期間，電視機具有非常長的 MTBF 和高的可用度，以便補償保固修理，避免顧客流失及造成競爭力喪失。

表 2b：可靠度需求與規格訂定案例

6	電子引擎控制器	駕駛及擁有者	汽車壽限內一般每年操作400小時	保固期間、或者最初7年或70,000英哩內，有1%汽車需要修理， $Q \leq 1\%$	需要較高的可靠度以補償相當長的MTTR(在維修廠的時間從1天到1週)，以及顧客的不方便。
7	飛航管制系統	航空公司駕駛	大於15年	系統每小時處理180組 10^8 位元雷達資料，每個月中每次持續中斷超過時間1分鐘的不定期中斷次數為2.9次。 $\lambda \leq 4,027.8 \text{ fr}/10^6 \text{ hr}$	透過高可靠度與低MTTR，以達到高可用度。因為對這種及時系統，不定期當機可能會生命傷亡。
8	彈道飛彈系統	防空戰管司令	到飛彈能夠摧毀預定目標	系統有8,000個關鍵零件，每19億零件小時失效1次 $\lambda \leq 0.5263 \text{ fr}/10^9 \text{ hr}$	調整MTBF與MTTR以獲得高性能與100%可靠度，內建測試設備可能造成錯誤的失效指示器，但是會減小MTTR。
9	心律調整器	病患	8至15年視心律調整器種類而定	170,000個裝置中每個月失效1次 $\lambda \leq 8.167 \text{ fr}/10^9 \text{ hr}$	可用度必須透過高可靠度才能達到，因為修理造成昂貴且風險高的手術、失效可能造成生命威脅。透過定期性能檢查可避免致命失效。
10	電腦作業系統	應用程式者	程式的操作時間	每小時失效1次至每個月失效1次 $\lambda \leq 1 \text{ 至 } 0.001389 \text{ fr/hr}$	作業系統本身並不會失效，但是程式中可能含有未被發現的錯誤。必須藉由可靠度達到高可用度，否則可能造成重要資料或記錄喪失或造成系統當機。

參考文獻

1. MIL-HDBK-338-1, Electronic Reliability Design Handbook