

可靠度技術手冊

可靠度設計技術



彭鴻霖 編著

中華民國八十九年十一月二十八日

目 錄

1 前言	1
2 可靠度設計與分析工作概述	1
2.1 可靠度需求	1
2.2 可靠度工作項目分類	3
2.3 可靠度設計工作流程	6
2.4 可靠度設計工作階段劃分	8
3 可靠度設計準則與指引	8
3.1 簡單化設計	10
3.2 模組化與標準化設計	11
3.3 容錯容損與複聯設計	12
3.4 測試性設計	13
3.5 操作、儲存與運輸設計	15
3.6 人員工程設計	16
參考資料	19

1 前言

基本上，可靠度為產品的重要品質特性之一，也是產品的設計參數之一。在產品壽命週期的整個研發設計過程中，由設計人員努力所建立植入產品中。基於現代產品對可靠度的重視與要求，特別是現代精密的產品，缺乏完善的可靠度設計與分析技術和作業能量，是無法在競爭激烈的市場上佔有一席之地的。為達到此一目標，首先要確定產品的可靠度需求，然後運用各種適切的設計方法與程序，導入各種分析手法，在產品的設計過程中將可靠度需求轉換成各層次的設計特性參數，如此才能事先預防在使用時可能發生的失效現象，達到確保產品可靠度水準的目的，此即所謂「可靠度是設計入產品的」。本報告首先摘要敘述可靠度設計工作內容與流程，然後就可靠度的觀點，分別從使用條件分析、功能分析與設計、應力分析與強度設計、時間效能設計、材料與零件選用、以及設計準則與指南應用等課題加以討論。

2 可靠度設計與分析工作概述

系統與設備可靠度有百分之八十取決於固有可靠度，而固有可靠度是在設計時就必須賦予產品的。在一個系統中，各部位所要求的可靠度不一定是同樣重要的，如果在這些部位中使用的組件功能相同，那就需要將最可靠的組件用在最重要的部位上；如果各部位所用的組件不同，或者工作原理不同，則需要找出一種設計佈局的方案，使得在規定的研製預算費用、進度及其他條件限制之下，系統有最大的可靠度，或者使系統在可靠度滿足規定要求的前提下，所付出的研製代價最小，這就是可靠度設計與分析技術所要探討的問題。

2.1 可靠度需求

現代產品的研發製造，主要是為了滿足顧客的需要。一般而言，顧客的需要通常是模糊的而且大多只是定性的描述，常見者如功能合理、操作方便、保證安全、容易維修等。

設計人員的任務就是如何將顧客的需要轉換成產品生產製造時所需要的零件、材料與過程規格。設計人員在進行研發設計時，除了基本的功能之外，必須以顧客能夠理解的產品效能(performance)來表示，以便和顧客溝通。所謂產品效能乃是產品在設計時必須由設計人員所賦予的物品特性(characteristics)，也就是目前國際品質系統 ISO 9000 中對於產品品質的定義。

產品效能為產品所具有的能力，因產品不同而異，一般可從功能效能、實體效能、運動效能、能源效能、使用效能、時間效能、安全效能、環保效能以及經濟效能等方面加以考量，一般產品效能架構如圖 1 所示。功能效能為設計人員對於顧客需要的基本考量項目，包括主要功能、輔助功能及美學功能。實體或結構效能是功能載體對外界負載條件的承受能力，包括重量、精度、強度、剛度、耐磨性、耐蝕性、熱穩定性、振動穩定性等。能源效能是工作條件的表現，包括負載種類、大小與性質，消耗功率大小、效率高低。運動效能是產品載體搬運及運動的需求，如速度大小、起動性、加速性、制動性、運動平穩性等。時間效能為產品能力在壽命週期中隨時間變化的表現，包括可用度、可靠度、測試度、維護度、支援度與耐久度等。安全效能是指

產品對於人員與財物方面造成侵權行為的影響，包括系統安全、工業安全、公共安全等。環保效能為產品對社會環境方面的影響程度，如會產生多少污染物、噪音量，以及減廢與回收等。

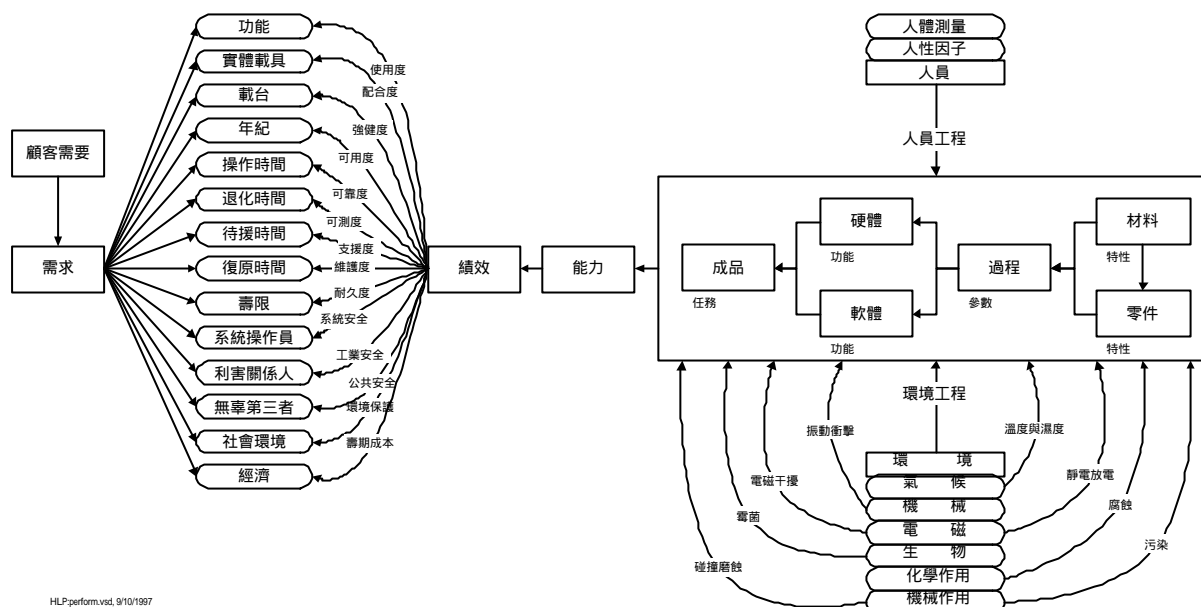


圖 1: 一般產品效能架構

這些使用者要求及產品效能需求，對於一個具體的契約型系統與設備而言，在其設計計畫書或契約書中會有詳細的規定。若是市場型產品，則有賴市場開發部門與研發部門人員的共同努力。這些要求與需求，自然是設計人員在設計過程中必須考量的重點問題。除此之外，在設計時還必須考慮產品的製造方法(可產度)與經濟性(壽命週期成本)、並本著持續改善的精神以適應現代市場競爭力及逐漸縮減的產品市場壽命週期的趨勢。

整體而言，一般的設計人員對於功能、結構、運動等效能大都有具體的概念，並且可以在設計過程中導入適切技術與方法。至於能源、環保與安全效能，則是近年來國際及國家法規約束的焦點，甚至有消費者保護機構及環保團體等，有專人進行效能的強制評審，自然不宜掉以輕心。至於時間效能，特別是其中扮演著最重要角色的可靠度效能，一般設計人員大多僅為定性的初步階段，對於可靠度的認知也是極為模糊的。因此，現代的設計人員除了必須考量能源、安全及環保效能外，還必須將時間效能，特別是可靠度效能的考量列為設計過程的重點項目，亦即瞭解及實施可靠度設計技術。

可靠度效能是物品能夠達成任務的能力指標之一，其量測指標為可靠度。可靠度的定義為物品於既定的時間內，在特定的使用與環境條件下，執行特定的功能，能夠圓滿成功的達成任務的機率。簡單的說，可靠度設計乃應用可靠度理論、技術與設計參數的統計資料，在滿足規定的物品可靠度指標下前題，對零件、組件、模組、單機、機器設備、分系統及系統進行設計的工作。廣義而言，就是在設計時，整體考量使用者要求、產品效能需求及壽命週期成本，並且對設計結果進行驗證、確認與保證。

可靠度設計的目的是在於提高產品的品質水準，包括功能指標與可靠度指標。在設計過程中，通過可靠度理論與技術的採用，使所設計的物品在一定的拘束條件下，獲得最適的可靠度結果，或者在規定的可靠度指標前題下，使某些設計拘束條件值達到最小。總而言之，就是使設計的物品在規定的條件下、規定的使用時間內、完成規定的功能任務時，失效機率最小、維修容易、有效度高、成本效益高、經濟壽命長。

2.2 可靠度工作項目分類

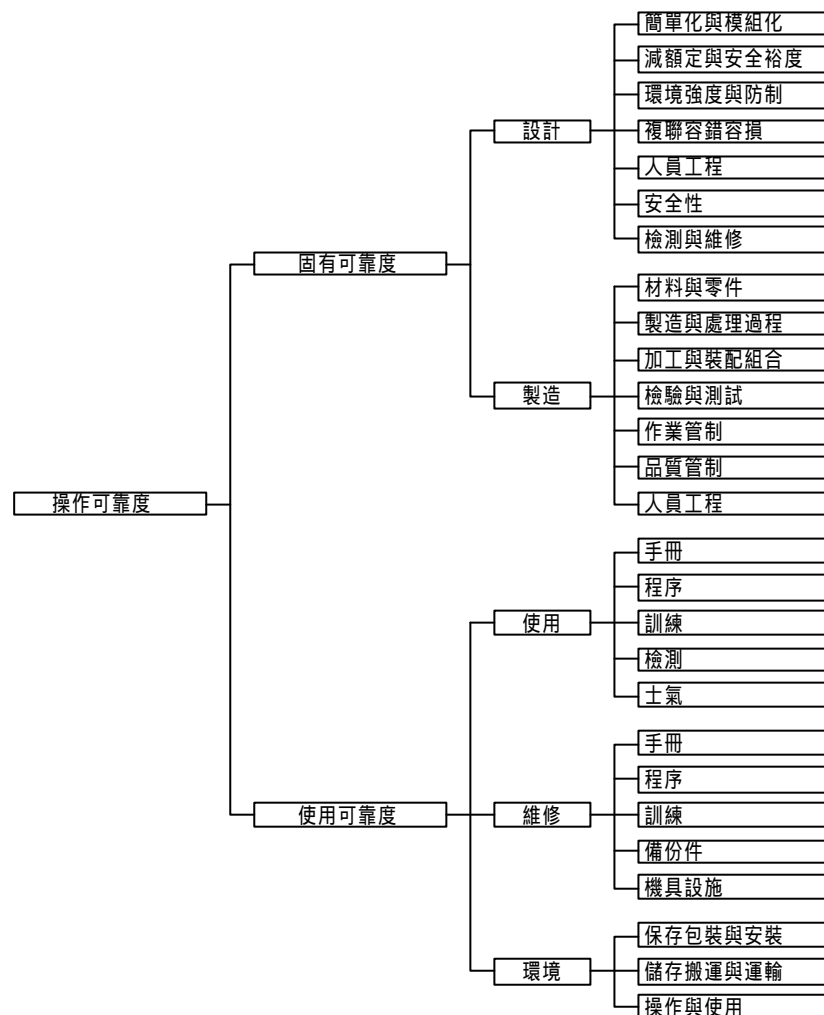
在今日隨處可遇到複雜系統中，任一組件的失效都會造成極為嚴重的後果。因此，可靠度與設計工程人員的主要目標，就是先考慮成本、可靠度、重量、體積等各種因素，而後選擇最適的設計。為達成此一目標，必須有一套在設計階段就能估計物品可靠度的方法。在系統與設備研發設計之初，就應該考慮產品的可靠度需求，唯有在產品設計時就將可靠度需求轉換成設計參數，進行可靠度設計分析，並且運用各種優良的工藝製造技術，才能事先預防在使用時可能發生的失效現象，達到確保產品可靠度水準的目的，此即所謂「可靠度是設計入(design-in)與製造入(build-in)產品的」。基本上，可靠度為產品的設計參數之一，是在整個設計過程中由設計人員努力所建立的。設計定型後，不管有多完善的生產計畫、品質計畫、或維修計畫，產品操作使用時的操作可靠度(operational reliability)永遠不會超過其設計值。因此，在研發設計時，由設計人員與製造人員所賦予產品的可靠度又稱為固有可靠度(inherent reliability)，如圖 2 所示。

無論是公司整體的可靠度作業項目、或是與專案計畫產品可靠度有關的各項活動，統稱為可靠度工作。關於可靠度工作的定義與架構，以美軍標準 MIL-STD-785 的歷史最早同時內容也最為完整，特別是 1980 年發行的 B 版，做了相當大的變革，擺脫往常對於計畫工作內容條列陳述的方式，將相關的工作項目按照類似屬性加以分類，稱之為要項(element)，然後再說明每一要項的細部內容，稱為工作子項(task)。依據美軍標準 785B 之規定，一個研發與生展專案計畫的可靠度工作可分為計畫監測與管制(100 系列工作要項)、設計與評估(200 系列工作要項)、發展與生產試驗(300 系列工作要項)等三大類，如圖 3 所示。其中和設計與分析有關的工作又分為可靠度模型化(201)、可靠度配當(202)、可靠度預估(203)、失效模式效應與關鍵性分析(204)、潛行線路分析(205)、電子零件與電路容差分析(206)、零件計畫(207)、可靠度關鍵物品(208)、功能測試儲存搬運包裝運輸與維護之效應(209)九個工作子項。

自從 ISO 9000 品質系統要求逐漸國際化之後，可靠度的問題也漸漸受到重視，整合此方面的國際標準即為 IEC 300 可恃度管理標準系列。IEC 300 系列將可恃度(亦即廣義的可靠度)工作依照特性分為與產品或專案無關和與產品或專案有關兩大類，如圖 4 所示。其中工程；分析、預估及設計審查等為和可靠度設計與分析有關的工作要項，其中工程要項包括可靠度工程、維護度工程、維護支援工程、測試度工程及人性因子工程等工作子項；分析、預估與設計審查則包括缺陷模式與效應分析、缺陷樹分析、應力與負載分析、人性因子分析、預估、擇適分析、風險分析、正式設計審查等工作子項。

從產品供應者亦即生產者的觀點而言，可靠度工作項目依照其型態與特性分為管理、工程與計算三種模式。另外依其性質大致可分歸納為規劃與管理、設計與分析、驗證與評估、及文件與資訊等四大類，如圖 5 所示。其中設計與分析工作包括：可靠

度需求與規格、可靠度模型訂定與應用、可靠度配當、可靠度預估、可靠度設計分析、電子零件/電路容差分析、電熱及機械應力分析、失效模式效應與關鍵性分析、缺陷樹分析與潛行線路分析、零件與材料選用、功能測試與維修效應分析、以及儲存搬運與運輸效應分析等項目。



R_o =操作可靠度(operational reliability)

R_i =固有可靠度(inherent reliability)

R_u =使用可靠度(use reliability)

操作可靠度(R_o)=固有可靠度(R_i) × 使用可靠度(R_u)

圖 2：固有可靠度與操作可靠度

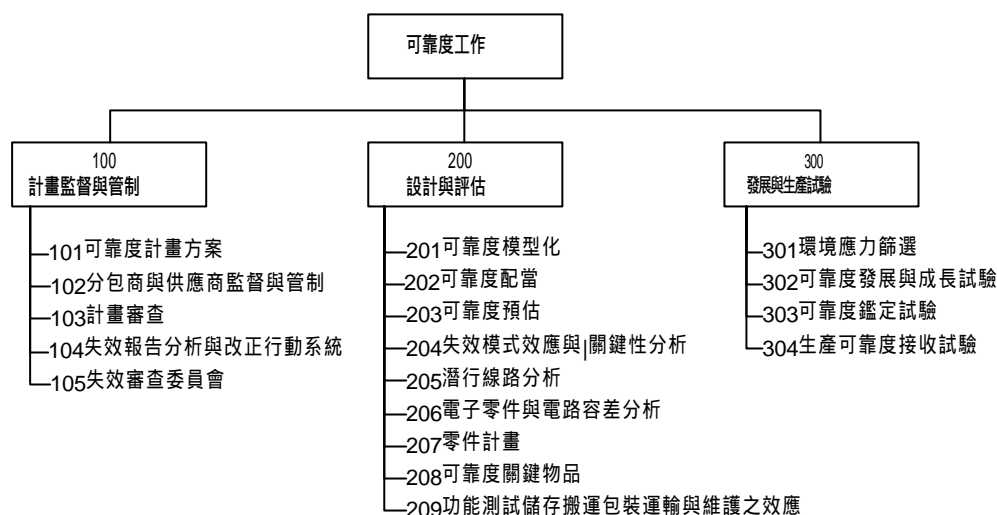


圖 3：MIL-STD-785B 規定之可靠度工作項目

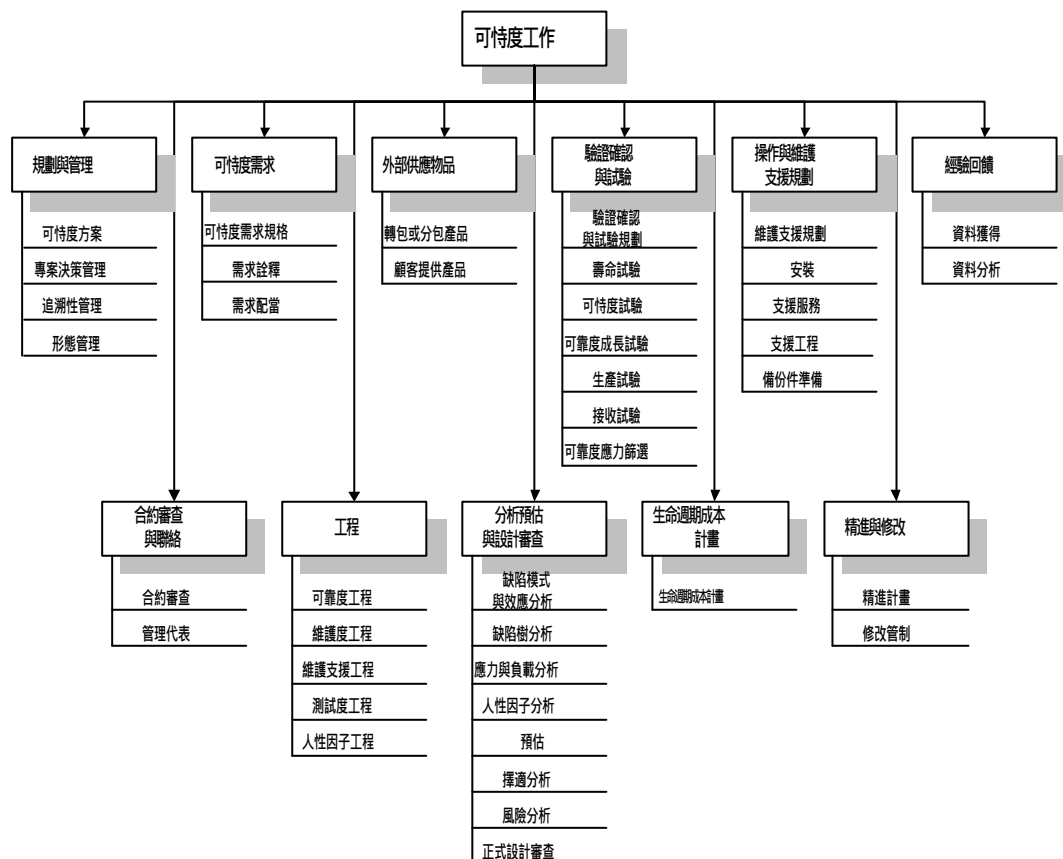


圖 4：國際標準 IEC 300-1/ISO 9000-4 規定之可恃度工作項目

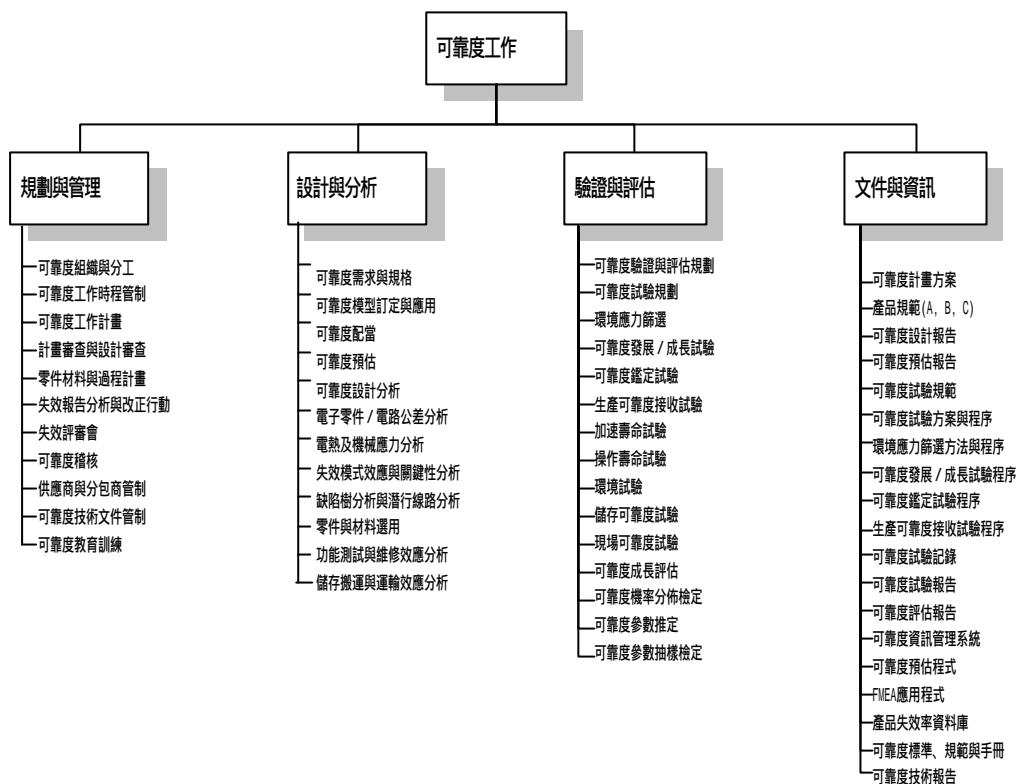


圖 5：可靠度工作項目

2.3 可靠度設計工作流程

產品研發時設計技術與分析方法的運用，在於確定設計弱點，將注意力集中在這些弱點，以便將之改正、或加以保護，或經由管理決策考慮後認為可以允許存在而接受之，並且在確定設計可以進入正式生產之前，作為保證設計滿足特定可靠度需求的一種工具。產品研製過程的可靠度設計分析工作流程如圖 6 所示。

在產品的概念定義階段，應根據該系統或設備的任務或壽命週期定義需求，明確訂定產品的可靠度指標。可靠度指標的確定，可以是依照標準的規定、由顧客提出、由設計者提出或是由各方協調訂定。常見的可信度指標包括成功機率、存活機率、平均失效間隔時間、可靠裕度、失效率等。然後根據壽命週期與任務輪廓定義，明確訂定產品的使用條件。使用條件包括工作條件、環境條件及維修條件。工作條件包括現場操作條件、動力條件；環境條件包括工作地點及產品載台的氣候環境、機械應力環境、電磁環境、生物環境、化學作用環境及機械作用環境等。根據這些環境條件，建立使用載體的環境應力需求。

接著是系統設計，根據顧客的功能需求規劃初步的系統概念、系統的基本構成機制以及系統的負載需求。然後根據系統架構及功能需求，建立系統可靠度模型，再利用可靠度配當及可靠度機能展開技術，將系統可靠度需求分配給重要的構成元件，作為元件設計的可靠度規格。

在設計發展階段，首先將元件可靠度規格需求轉換成對設計人員有意義的輸入及物品特性參數，如電流、電壓、功率、熱、機械、腐蝕等應力項目，並確立其需求水準。然後根據設計基本理論與設計準則，進行細部設計，根據物品的效能函數及失效定義，決定在功能規格需求下，滿足這些應力需求所必須具備的耐環境強度水準，並選定適切的材料、零件與過程，確保產品在時間效能方面的壽命與耐久性能力。為達到此一目標，在設計過程中必須運用各種可靠度分析方法與技術，確保對於可靠度問題有周全的考慮。

當產品設計逐漸成熟時，可靠度設計與分析工作由正面的應力分析、容差分析等，轉向以物品失效為出發點的分析工作。這些工作主要考慮這些失效發生的原因及其對物品的可靠度的影響，因此，可以稱之為失效分析技術，又因為其分析的對象通常是以形態件為主，因而又有人稱之為形態分析(configuration analysis)。這些分析方法依所需的技術基礎分為失效物理分析、失效工程分析及失效統計分析。若依所使用之技術與學識，以及失效發生的時序，則又可分為事前、事中及事後分析方法，在應用上則是按事中、事後及事前的次序進行的。

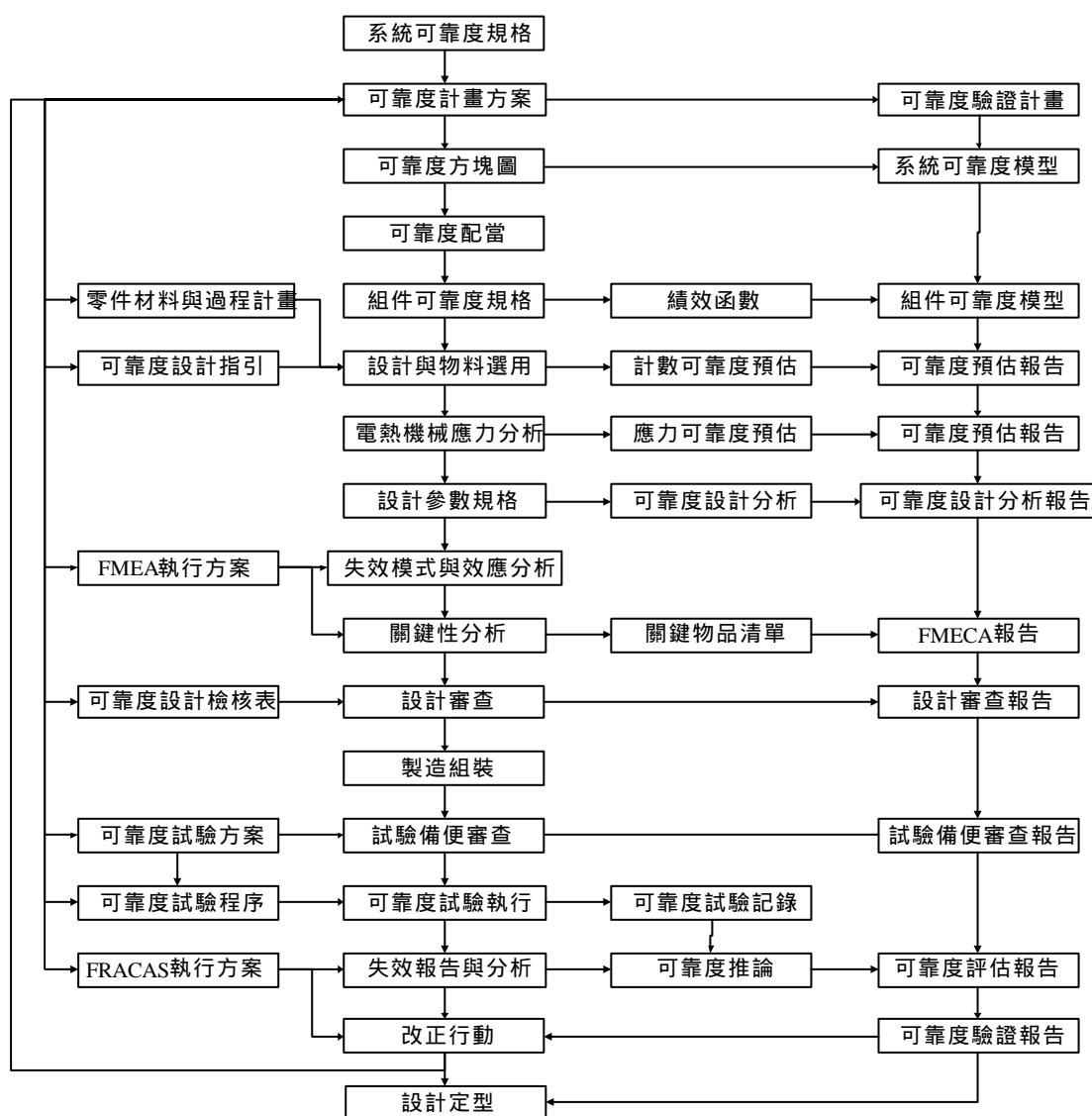


圖 6：產品研發可靠度設計工作流程

2.4 可靠度設計工作階段劃分

產品在研發時，應該運用各種設計技術與分析方法以確定設計弱點，然後可以將研發精進的注意力集中在這些弱點，以便將之改正或加以保護，或經由管理決策考慮後認為可以允許存在而接受之。這些方法與工具依照研製設計過程(design process)的進展，可以區分為功能分析與設計、使用條件分析、應力分析與強度設計、時間效能與機率設計、零件與材料選用、及設計準則與指南應用等階段。

產品可靠度設計的第一階段為功能分析與設計，就顧客需要及可靠度需求，決定所需的功能水準，進而根據專業知識與過去的經驗，選擇適切的設計原理。主要的技術包括：系統設計、參數設計、容差設計。這三種功能設計方法又稱堅韌性設計。

產品可靠度設計的第二階段為使用條件分析，根據產品的壽命週期定義進行任務輪廓與環境輪廓分析，主要的工作項目可分為工作條件分析、環境條件分析及維修條件分析三大類。工作條件分析工作，如：功能模式定義、輸入信號分析；環境條件分析工作，如：環境條件分類、環境參數定義、環境條件等級分類、環境條件等級選擇及環境規格擬訂；維修條件分析工作，如：預防維護規劃、改正維護管制與後勤支援分析。

產品可靠度設計的第三階段為應力分析與強度設計，將產品在其壽命週期中所遭遇的各種條件轉換成設計輸入的負載水準，然後就設計載體對各種負載條件對內部零件與結構所引起之應力分析，根據應力需求選用足夠的強度或適切的防制方法，主要的技術包括：靜電放電應力分析與防護、熱應力分析與防制、機械應力分析與防制、腐蝕應力分析與防制等。

產品可靠度設計的第四個階段為時間效能設計，主要從時間觀點，確保設計之時間效能符合顧客需求，主要的技術包括：常數設計法，參數設計法，機率設計法，及實驗設計法等。

產品可靠度設計的第五個階段材料與零件選用，根據功能、載體及壽命等設計分析所建立之需求，進行系統構成材料、零件的選擇與應用，主要的技術包括材料選用、電子零件選用、機械零件選用、零件管制、零件保證等。

產品可靠度設計的第六個階段為可靠度設計準則與指引應用，參考自己公司或其他單位所建立的一些對產品可靠度有幫助的設計準則與指引，諸如：簡單化、模組化與標準化、容損容錯與複聯、測試性、操作儲存與運輸效應及人員工程等，並在產品研發設計過程中適時予以應用。

3 可靠度設計準則與指引

在系統與設備的研發過程中，不論其設計工作是根據理論推演，或者是應用過去累積的經驗，為使設計產品具有高可靠度水準、符合顧客的需求，在設計之前和設計進行中有許多必須注意或必須考慮的規定或原則事項。其中有些規定的項目，是在設計過程中必須嚴格遵守者，一般稱之為可靠度設計準則(reliability design criteria)；有些則要求較為鬆、在設計時僅做為參考應用的事項，一般稱之為可靠度設計指引(reliability design guidelines)。當然，並非每一件研發設計工作都必須使用或考慮到所有的準則與指

南，在應用時，應該視研發對象的特性而加以裁適，如此所設計的產品，其可靠度需求必可輕易達成，在驗證時可以不必花太多的成本和時間，達到事半功倍的效果。

常見的可靠度設計準則與指南項目，一般性從可靠度關點考量者包括：

- (1). 簡單化(Simplicity)
- (2). 模組化與標準化(Modularity and Standardization)
- (3). 容錯(Fault Tolerance)、容損(Damage Tolerance)與複聯(Redundancy)設計
- (4). 測試性(Testability)
- (5). 操作、儲存與運輸(Operation, Storage and Transportation)
- (6). 人員工程(Human Engineering)

可靠度設計之一般性參考資料如下：

- (1). MIL-HDBK-338-1, (1984), Electronic Reliability Design Handbook
- (2). MIL-STD-454M (1989), Standard General Requirements for Electronic Equipment Requirement 35: Reliability
- (3). AMCP 706-124, Engineering Design Handbook: Reliable Military Electronics, Headquarters U.S. Army Materiel Command, 5001 Eisenhower Ave, Alexandria, VA 22333, AD#A025665.
- (4). AMCP 706-196, Engineering Design Handbook: Design for Reliability, AD#A027370.
- (5). RADC-TR-8457 (1984), Reliability, Testability Design Considerations for Fault Tolerance Systems
- (6). RADC-TR-88-304 (1988), Reliability Design Criteria for High Power Tubes
- (7). Ireson (1989), Handbook of Reliability Engineering and Management

18.3.11 Reliability Design Guidelines

- (8). Arsenault, J.E., and J.A. Roberts, Reliability and Maintainability of Electronic Systems, Computer Science Press, 9125 Fall River Lane, Potomac, MD 20854, 1980.
- (9). Fink, D.G., and D. Christiansen, ed., Electronic Engineers' Handbook, McGraw Hill Book Co., NY, 1982.
- (10). Deger, E., and T.C. Jobe, "A Design Factor in Reliability," Electronics, August 30, 1973, pp. 83-89.

3.1 簡單化設計

一般而言，系統或設備越複雜、所使用的零組件越多，其可靠度就越低。簡單化是一項設計實務，可促使系統或設備能夠較容易和以較廉價生產製造、操作使用、及維修保養。

簡單化的需求與原則包括：

- (1). 系統設計不要太複雜。
- (2). 減少零件及介面連接數量。
- (3). 在現場使用層次，應該儘量減少所需使用的手工具種類。
- (4). 在使用現場應該不需要有特殊支援設備或工具的需求。
- (5). 減少支援工具與器材，同時測試與維修地點應該很方便。
- (6). 使用已經使用證實，而且為高可靠度的線路。

簡單化設計常見的檢核項目如下：

- (1). 設備設計的複雜性是否減至最低程度？
- (2). 可調式零件的使用是否減至最少？
- (3). 是否儘量避免使用需要磨擦或壓力接觸的機械元件？
- (4). 調整的需求是否已經減至最少？
- (5). 是否儘量使用通用材料以代替特殊材料？
- (6). 設計的再加工需求是否減至最低？
- (7). 對不屬插入式之模組或零件，安裝時是否使用四個以下的鎖緊裝置？

簡單化設計之主要參考資料包括：

- (1). USAF R&M 2000 PROCESS (1988), Simplification
- (2). Reliability Design Handbook (1976)
4.1.5 Design Simplification and Analysis
- (3). Ireson (1989), Handbook of Reliability Engineering and Management
18.3.11 Reliability Design Guidelines

3.2 模組化與標準化設計

模組化與標準化乃是設計選料件時，儘可能採用標準零件、扣件，及已經經過使用證實為高可靠度的套裝組件或套裝軟體，使產品的設計、生產製造、與維修保養更方便、更經濟。使用標準化和模組化設計可以增加生產力；同時，由於所需技術普及、具可交換性、換修快速、可以增加維修品質、縮短維修時間，因而改進系統或設備的維護度。

模組化和標準化的原則為：

- (1). 使用標準扣件和零件
- (2). 使用一致的尺寸和形狀
- (3). 使用導銷和鍵、槽連結設計
- (4). 容易檢查與測試
- (5). 迅速拆卸與組合
- (6). 減少功能數目

模組化與標準化設計常見的檢核項目如下：

- (1). 除考慮效率因素外，設計中使用標準組件及料件是否達到最大界限？
- (2). 類似的應用中是否使用相同的物品或料件？
- (3). 設計中是否儘量減少不同料件形態的使用數目？
- (4). 設備名稱、標籤及銘牌是否儘量的標準化？
- (5). 相同或類似功能的設備控制面板是否採用相同或類似的位置和佈置？
- (6). 線路設計的安全裕度是否足夠、充分？
- (7). 是否儘可能使用已經驗證、高可靠度的標準組件？
- (8). 是否已經建立與調整線路或零件有關的穩定性需求？
- (9). 回授線路是否能保持固定的線路增益？
- (10). 主要線路是否應用可調節式電源？
- (11). 是否可利用標準工具和現有設備實施製造、裝配及測試等作業？
- (12). 是否可使用標準製造、裝配、檢驗、試驗及操作程序？
- (13). 除非會損及產品可靠度，是否儘量使用「插入式」模組與組件？

(14). 類似機能的模組與零件在電氣、功能及物理方面是否具有可交換性或互換性？

模組化與標準化設計之主要參考資料包括：

- (1). RADC-TR-77-13 (1977), System Modularization to Minimize Life Cycle Costs
- (2). RADC-TR-78-207 (1978), Multilevel Modularization of Systems to Minimize Life Cycle Costs
- (3). MIL-STD-454M (1989), Standard General Requirements for Electronic Equipment
Requirement 73: Standard Electronic Modules
- (4). USAF R&M 2000 PROCESS (1988), Modularity
- (5). Ireson (1989), Handbook of Reliability Engineering and Management

18.3.11 Reliability Design Guidelines

3.3 容錯容損與複聯設計

對於有些設計而言，失效的發生是無法避免的，因此在設計時應採取各種預防的措施，以減少該類失效的發生，或使發生造成的影響降至最低的程度。一般失效按其產生的效應可分為危害性失效(fail-danger)和安全性失效(fail-safe)。對安全或可靠度要求特別高系統，可採用複聯(redundancy)、容損(damage-tolerant)或容錯(fault-tolerant)設計，以滿足任務需求。另外，在預防性維護(preventive maintenance)的規劃下，採用複聯設計可消除或減小失效停用時間(down time)。

採用容錯與複聯設計雖可提高系統可靠度，但相對的亦增加系統的複雜性、重量、空間及電源消耗。此外，複聯件的增加，失效機率亦將增加。所以在採用容錯與複聯設計之前，應先衡量是否可採用其他的可靠度設計技術，以替代複聯設計方法。

複聯設計原則可應用於系統、分系統、設備、組件或零件的任一組合層次。常用的複聯設計技術可分為主動複聯與被動複聯兩大類。

容錯與複聯設計常見的檢核項目如下：

- (1). 是否廣泛採用功能錯誤指示線路及儀具？
- (2). 設備故障或失效可能造成的危害或損傷是否為最小？
- (3). 設備故障或失效發生時是否有自癒的能力？
- (4). 設計是否已考慮失效後不影響安全之需求？
- (5). 各種室外金屬零件與設備是否有安裝適當的接地設計？
- (6). 是否針對高壓電危害安裝保護措施？

- (7). 電路設計是否考慮內部鎖定裝置？
- (8). 在火工及類似產品的操作地點是否確立安全規則及加裝安全防護措施？

容錯與複聯設計之主要參考資料包括：

- (1). RADC-TR-88-89 (1988), R/M/T Design for Fault Tolerance
- (2). NAVWEPS 00-65-502 (1964), Handbook Reliability Engineering
 - 10.2.4 Redundancy
 - 10.2.6 Redundancy-With-Repair
- (3). Reliability Design Handbook (1976)
 - 4.1.4 Redundancy
- (4). RADC-TR-77-287 (1977), A Redundancy Notebook, Klion, J.
- (5). RADC-TR-87-11 (1987), Availability Equations for Redundant Systems, Both Single and Multiple Repair Capability
- (6). Ireson (1989), Handbook of Reliability Engineering and Management

18.3.11 Reliability Design Guidelines

3.4 測試性設計

一個經濟、有效的產品，在研發設計階段，就應該考慮設備在使用時能夠提供適當的測試與檢驗能量及其可能性與可行性。大部份的研發設計，在設計初期往往忽略在生產製造及顧客使用時測試能量的必要性，等到了發展後期才想到增加此一能量，結果只有造成困擾及增加成本。

設計人員必須了解產品詳細的可測試性、維修保養需求、及支援設備性能等，才能在採用自動測試、自我測試、或手動測試之間作設計擇優的決定。

測試性設計常見的檢核項目如下：

- (1). 設計是否視需要使用自測設備？
- (2). 自測項目的內容與深度是否與維護度水準相匹配？
- (3). 自測功能是否自動化？
- (4). 是否具備故障直接指示裝置(如指示燈、音響訊號等)？
- (5). 是否視需要使用持續性的功能監測設備？

- (6). 是否提供測試點以協助檢查及隔離故障或失效部位？
- (7). 測試點位置是否很容易接近並且與維護需求相匹配？
- (8). 測試點次序是否按功能需求及測試方便性安排？
- (9). 對於可更換零件是否提供直接功能測試點？
- (10). 測試點是否加上適當的標籤、編上唯一的編號及加註應顯示的信號與輸出量測值？
- (11). 測試點是否有足夠的照明，以利看清號碼、標籤及信號值？
- (12). 模組之間是否有足夠的位置與空間，以利裝配、測試與維修作業之進行而不會影響或移動其他組件？
- (13). 重要件或有操作壽限件是否加裝或配備計時器？

測試性設計之主要參考資料包括：

- (1). RADC-TR-78-224 (1978), A Design Guide for Built-In Test (BIT)
- (2). RADC-TR-79-309 (1979), BIT/External Test Figures of Merit and Demonstration Techniques
- (3). RADC-TR-79-327 (1979), An Objective Printed Circuit Board Testability Design and Rating System
- (4). RADC-TR-80-32 (1980), Built-In-Test and External Tester Reliability Characteristics
- (5). RADC-TR-80-111 (1980), Design Guidelines and Optimization Procedures for Test Subsystem Designs
- (6). RADC-TR-81-220 (1981), Analysis of Built-In-Test False Alarm Conditions
- (7). RADC-TR-82-189 (1982), RADC Testability Notebook
- (8). RADC-TR-83-4 (1983), Analytical Procedures for Testability
- (9). RADC-TR-83-257 (1983), Computer-Aided Testability Design Analysis
- (10). RADC-TR-85-148 (1985), Smart BIT
- (11). RADC-TR-85-150 (1985), A Rationale and Approach for Defining and Structuring Testability Requirements

3.5 操作、儲存與運輸設計

系統與設備一旦製造完成後，其性能隨時間會有所改變，特別是在漫長的後勤補給搬運及儲存期間，設備會惡化或功能退化。為減低性能退化情形，保持設備固有的設計可靠度，在設計之初必須確定設備在儲存、搬運、運輸、情態(domancy)、儲存定期測試期間所可能造成的疵病、預測其變化率、分析這些疵病可能引起的效應，設計及選用適當的保存、包裝及運送打包措施與材料，並擬訂定期測試程序、維修及監測計畫，以掌握及管制設備的可靠度與操作備便性。

操作、儲存及運輸設計常見的檢核項目如下：

- (1). 設計時是否已經考慮儲存與運輸的環境需求？
- (2). 零件壽命是否都已經確定？
- (3). 壽限件是否訂定有維修更換作業規定與程序？
- (4). 設備的搬送與運輸環境條件是否已經規定清楚？
- (5). 設備是否容易拆裝，以便運送到另一地點？
- (6). 設備拆裝後重新組合操作是否影響其性能及可靠度？
- (7). 設備搬運設備及打包需求是否規定清楚？
- (8). 設備搬運設備的選用是否基於成本效益而加以考慮？
- (9). 設備包裝是否按機能不同而加以設計？
- (10). 設備的儲存環境條件是否已經規定清楚？
- (11). 設備經長期儲存後是否會造成或發生過度降級或退化現象？
- (12). 設備在儲存期間是否擬訂定期測試及維修需求？
- (13). 設備在儲存期間的定期測試及維修需求是否已經消除或減低至最少？
- (14). 設備在儲存期間的定期測試及維修資源是否規定清楚？
- (15). 所有測試電纜、接線是否加上標識？
- (16). 零件與模組的維修更換是否很便捷？
- (17). 維修門是否開在適當的位置、使用活葉門，以利維修作業之進行？
- (18). 維修開口大小是否適當、並作最佳佈置，以滿足維修需求？
- (19). 維修門或開口是否加以標誌，以說明可以接近的對象、機件或工具？
- (20). 利用絞鍊開合的維修門在打開時是否能夠支撐固定？

- (21). 維修門或開口是否使用最少的鎖緊機件？
- (22). 鎖定機件是否採用急釋機構設計？
- (23). 維修門之開關是否可以不必使用其他工具？
- (24). 維修門開關工具數量需求是否保持最少，並儘可能使用標準工具？

操作、儲存及運輸設計之主要參考資料包括：

- (1). AMCP 706-115, Engineering Design Handbook: Environmental Series, Part One, Basic Environmental Concepts, AD#784999.
- (2). AMCP 706-116, Engineering Design Handbook, Environmental Series, Part Two, Natural Environmental Factors, AD#A012648.
- (3). AMCP 706-117, Engineering Design Handbook, Environmental Series, Part Three, Induced Environmental Factors, AD#A023512.
- (4). AMCP 706-118, Engineering Design Handbook, Environmental Series, Part Four, Life Cycle Environments, AD#A015179.
- (5). AMCP 706-119, Engineering Design Handbook, Environmental Series, Part Five, Glossary of Environmental Terms.
- (6). MIL-HDBK-251, Reliability/Design Thermal Applications.
- (7). Pavia, R.V., An Investigation into Engine Wear Caused by Dirt, Aeronautical Research Committee Report, ACA-50, July 1950.
- (8). RADC-TR-76-366 (1976), Operational Influences on Reliability
- (9). RADC-TR-85-91 (1985), Impact of Non-operating Periods on Equipment Reliability
- (10). RADC-TR-88-110 (1988), Reliability/Maintainability/Testability Design for Dormancy

3.6 人員工程設計

人員工程的範疇包括考慮人員心理因素的人性因子與考慮人員身體結構、物理特性的人體工程兩部份。在發展與採購系統、設備及設施時應用人性因子與人體工程之目的為經濟的運用人力資源，將人員與系統設計有效的整合在一起，發展或精進人員、設備與軟體之間的介面關係，使系統在人員操作、維護或管制系統的效能達到需要之有效性需求。

人性因子與人體工程設計常見的檢核項目如下：

- (1). 設備或模組是否有考慮防止安裝錯誤的特別設計？
- (2). 插入式模組或零件是否不用工具就可安裝或取出？

- (3). 組合件是否有導槽或導鍵，以協助安裝作業？
- (4). 所有的模組及零件是否均加上標識？
- (5). 模組與零件的標識是否在上方或容易看得見的位置？
- (6). 操作控制面板是否考慮操作員的特性而作最佳安排？如操作員站著操作，面板離地高度應在 40 至 70 吋之間，較重要或精密者則在 48 至 64 吋之間，坐著操作的離地高度為 30 吋。
- (7). 類似的接頭與插座是否有防止插錯的措施？
- (8). 對稱型接頭與插座是否有固定位置或接腳的防愚措施？
- (9). 連接器在聯接及拆鬆時，工作人員是否能緊緊握牢？
- (10). 連接器、接頭、插座是否有適當的標識？
- (11). 在測試及維修人員會接觸到的握把或部位，如果接近高壓區域是否有適當的絕緣防護措施？
- (12). 突出的設備是否予以消除或加裝適當的保護措施？

人因與人體工程設計之主要參考資料包括：

- (1). MIL-STD-1472C (1980), Human Engineering Design Criteria for Military System, Equipment and Facilities
- (2). MIL-H-46855, Human Engineering Design Criteria for Military Systems, Equipment and Facilities.
- (3). MIL-STD-454M (1989), Standard General Requirements for Electronic Equipment
Requirement 62: Human Engineering
- (4). Woodson, W.E., and D.W. Conover, Human Engineering Guide for Equipment Designers, University of California Press, Berkeley, California, 1966.
- (5). Davis, B.P., and C.N. Cordoni, "People Subsystem Measurement for Total Reliability," Proceedings of the 1970 Annual Symposium on Reliability, 1970, p. 394.
- (6). Miller, G.E., et. al., Human Factors Aspects of Reliability, Publication No. U2296, Philco Corp., Newport Beach, California, 1964.
- (7). Kraft, J.A., "Mitigation of Human Error Through Human Factors Design Engineering," Annals of the 7th Reliability and Maintainability Conference, 7, 300, 1968.
- (8). Inaba, K., and R. Matson, "Measurement of Human Errors with Existing Data," Annals of the 7th Reliability and Maintainability Conference, 7, 301, 1968.

參考資料