

可靠度技術手冊

失效分析技術



彭鴻霖 編著

中華民國八十九年十二月十八日

目 錄

1 前 言	1
2 失效概論	1
2.1 失效定義	1
2.2 失效現象	1
2.3 失效分類	2
2.3.1 依失效發生時間情況分類	2
2.3.2 依失效範圍程度分類	3
2.3.3 綜合性失效分類	3
2.3.4 依失效發生原因分類	4
2.3.5 依失效根源分類	4
2.3.6 依造成失效的錯誤類別分類	4
2.4 失效缺陷誤差與缺點	5
3 失效模式	5
3.1 失效模式分類	6
3.2 失效模式定義	7
3.2.1 應力環境失效模式	8
3.2.2 介質環境失效模式	9
3.3 失效模式編碼	9
3.4 失效模式分佈	9
4 失效效應	11
5 失效原因	11
6 失效機率	12
7 失效分析方法	16
7.1 失效模式、效應與關鍵性分析	16
7.2 單點失效與共同模式分析	17
7.3 事件樹分析	18
7.4 缺陷樹分析	18
7.5 潛行線路分析	20
8 失效分析程序	21
8.1 失效基本分析	21
8.2 失效物理分析	22
8.3 失效統計分析	22
8.4 失效工程分析	22
8.5 失效管理分析	23
8.5.1 失效對策	23
8.5.2 失效改正行動	24

1 前言

可靠度為說明物品是品質特性或能力的指標之一，通常是依照物品的功能定義與實際使用時的表現結果作比較而得，而可靠度的反面就是「不可靠度」，不可靠的原因乃物品失效了，無法圓滿的達成預期的任務。因此，若要解決可靠度問題，特別是從設計方面著手，則必須先瞭解發生失效的原因及其相關資訊，如此才能確實掌握問題的根源，採取適切的改正行動，達到消弭失效、提昇可靠度之目的。失效分析為達到此一目的必須執行的可靠度作業。

當產品設計逐漸成熟時，可靠度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，考慮這些失效發生的原因及其對物品的可靠度的影響，這種工作稱之為失效分析(failure analysis)，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)。

失效分析為檢討物品的潛在性或顯在性的失效機制、發生機率及失效效應，並加以採取措施加以改正所做的有系統的調查研究。失效分析技術，除了需要各種物理與化學原理外，還得考慮運用各種與產品有關的相對應的固有工程與管理技術。以下就失效分析有關的失效定義、失效現象、失效分類、失效模式、失效效應、失效原因、失效機率、失效分析方法、失效分析程序，以及失效評價與對策等項目分別加以說明。

2 失效概論

2.1 失效定義

根據Collins(1981)的定義，「失效的為一件裝備、裝備的組件、或一件結構發生任何形狀、尺度或材料性質的變化，造成這些物品處於無法充分地執行其特定的功能的狀態」。

失效的定義有賴於規格的擬訂，所謂的規格是指對於系統或裝備的性能或功能範圍，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，依據量測所使用儀具之解析度(resolution)，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其是/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就不能滿足的規格界限，相對地就困難多了，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。

2.2 失效現象

一般失效發生時，物品直接表現的形式至少可區分為下列四種狀況：

- (1). 實體破壞；
- (2). 操作功能中止，即故障；

- (3). 功能退化；及
- (4). 功能不穩定。

以電視機為例，如果打開電視機，既無聲音亦無畫面影像，則明顯的電視機有零組件發生實體破壞而無法收視，屬於第一種狀況；假如只有雜訊與雜音、沒有正常畫面，則屬於第二種狀況；若畫面顏色或聲音不再如往日一樣清晰或亮度減弱，則屬第三種狀況；若畫面跳動，則屬於第四種狀況。

物品發生實體破壞一定會造成功能完全中止，例如引擎停止運轉、結構崩塌、通訊設備零件損壞等，一般稱為突發性、劇變性或致命性失效(catastrophic failure)，由於此類失效通常多為結構方面的破壞，因此又稱為硬式失效(hard failure)。

操作中止、功能退化或功能不穩定這一類的失效並不是物品具有實質或結構方面的破壞，但是其機能明顯的因為老化(aging)、退化(degradation)或不穩定(unstable)而不能滿足原設定的要求標準，對於此類失效現象與研判準則應該加以數量化，以便相互比較而作為下決策之依據。由於多為功能方面不能滿足需求，例如馬達不再輸出其指定的力量、結構體的彎曲量超過指定值、擴音器發出的聲音小於設定的音量等，由於此類失效並沒有物體上之破壞現象，因此相對於硬式失效而稱之為軟式失效(soft failure)。

一般而言，裝備是由單元、模組、組件、零件等許多組合層次的元件所構成的，有時候根據這些元件在裝備操作使用時所扮演的地位，亦即元件失效與裝備失效的關係，可以將元件區分為主動件及被動件兩類。所謂主動與被動兩詞是指物品的主要功能，區分主動件及被動件的主要理由是因為通常主動件的失效率遠較被動件為高，一般會高達兩個或三量級(order)。事實上，主動件的失效率高於被動件的原因之一，是因為主動件常由很多非複聯的主動件與被動件所構成的。當然這種分類法只是為了方便說明而已，實際上一個主動件有可能包括許多容易發生失效的被動件。例如一台泵的功能是屬於主動的，泵的外殼則為被動組件，但是外殼破裂損壞也是使泵失效的一種失效模式。不論是主動件或被動件，當系統或裝備的整體或其構成物品中止執行其應具備的功能或績效，或未能發揮其預定的功能時，稱之為失效。因此，光憑失效時的外觀特徵是很難掌握及解決失效的問題的。

2.3 失效分類

為便於資料的處理與應用，通常將失效依照其應用目的或特性加以分類，例如失效發生的原因、失效發生的時間情況、失效的範圍程度、綜合性的考量、造成失效的來源、以及造成失效的錯誤類別等，如圖1所示，各種失效類別分別加以說明如后。

2.3.1 依失效發生時間情況分類

- (1). 突發性失效(sudden failure)

無法靠事先的檢驗、測試而預知的失效，一般多是突然地發生。

- (2). 漸變性失效(gradual failure)

漸次形成的失效，有可能由事前的檢驗、測試而預測其即將發生。

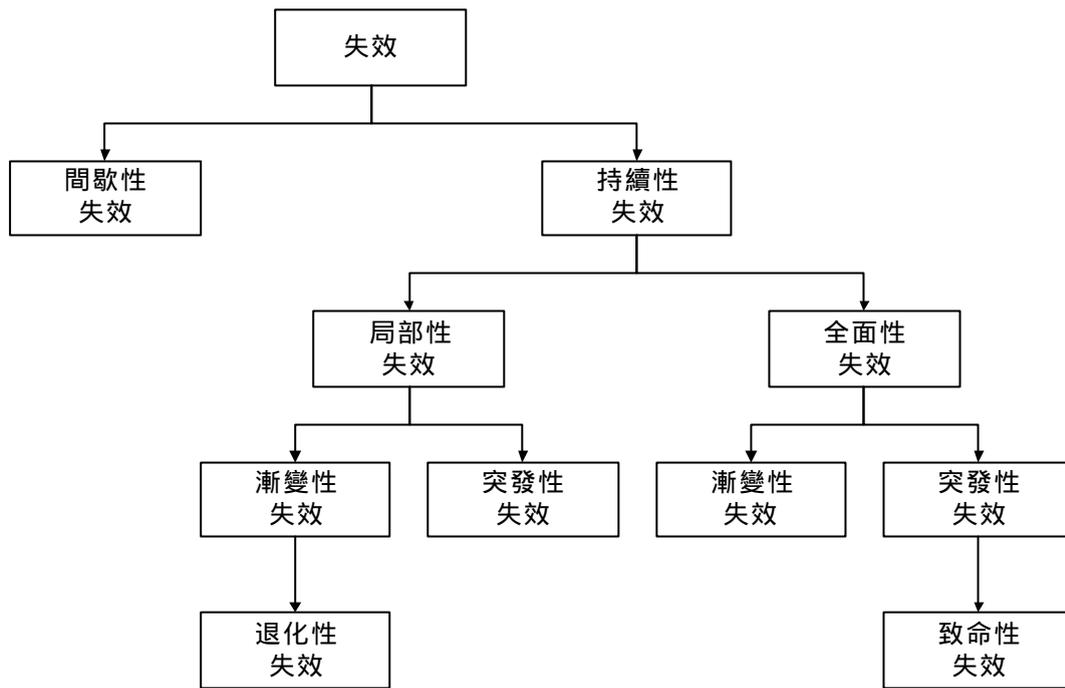


圖1：失效分類

2.3.2 依失效範圍程度分類

(1). 局部性失效(local failure)

因特性上的變異超出規定的界限而發生的失效，雖然物品因此而無法達到預期的完全機能，但還不致完全失去其機能的特性。

(2). 全面性失效(complete failure)

因特性上的變異超出規定的界限而使物品完全失去其機能的特性。

2.3.3 綜合性失效分類

(1). 致命性或劇變性失效(catastrophic failure)

涵蓋突發性與全面性兩種情況的失效。

(2). 退化性或劣化性失效(degradation failure)

涵蓋漸次性與局部性兩種情況的失效。

2.3.4 依失效發生原因分類

(1). 先天性弱點的失效(inherent weakness failure)

物品所承受的負載雖然在限制範圍之內，但因產品本身先天的弱點因素而造成的失效。此類失效一般是因設計或製造上的錯誤而發生的可能性較多。

(2). 誤用失效(misuse failure)

由於使用錯誤或使用不當，使遭受的負載可能超過物品的設計能力而導致失效。

2.3.5 依失效根源分類

系統或裝備失效的主要根源可分為下列四大類：

- (1). 老化；
- (2). 組件；
- (3). 環境；
- (4). 人員。

2.3.6 依造成失效的錯誤類別分類

通常失效的發生都是因為存在著缺陷或錯誤(fault)，當然並不是所有的錯誤都會造成失效，一般將錯誤分為基本錯誤(primary fault)、從屬錯誤(secondary fault)、及指令錯誤(command fault)等三類，因此所造成物品的失效相對的又可分為基本失效、從屬失效及指令失效。基本失效亦有稱之為初次失效或主要失效，從屬失效亦有稱之為二次失效或次要失效。

(1). 基本失效

基本失效是組件在規定的環境與負載條件下發生的失效情形，亦即合乎設計需求卻發生的失效，例如壓力容器在低於設計壓力時發生爆裂即應歸類為基本錯誤，最常見的起因是設計、製造、或工藝不良，所以與早期失效的關係最為密切。基本失效有時也可能是由於過度或非預期的磨耗、老化，或是因為系統未能妥善維護以及零件未能及時更換。

(2). 從屬失效

從屬失效為物品不在規定的環境與負載條件下使用所造成的失效，例如壓力容器由於使用壓力遠超過設計值而發生的失效現象即為從屬失效，容器本身仍然是好的，主要是因為有害的環境或是負載太大、相鄰物品失效的交互作用、或是因操作人員使

用不當所造成的。對於正常的設計與操作狀況而言，通常此類失效都是隨機性發生的，常數失效率為其特色。

(3).指令失效

雖然物品在基本錯誤及從屬錯誤等操作不正常時會發生失效，但在正常的操作時也會發生失效，例如時間與地點不對，此類失效通常稱之為指令失效，其主要是因為在使用時操作人員的失誤問題、或者是訊號與雜訊疏於控制所造成的，以壓力容器為例，壓力並不會過高，但因洩壓閥開啟不當而失去壓力，即是因為該壓力容器的閥門組件接到錯誤的指令訊號而開啟所造成的，此類失效即為指令失效。另外，汽車在不應鳴叫時卻因誤觸喇叭而發出聲音亦為典型的例子。對於指令失效我們就必須尋求物品本身失效以外的指令錯誤來源。

2.4 失效缺陷誤差與缺點

失效(failure)乃系統或裝備發生不滿足設計功能、無法達成既定任務的情況，是一種事件(event)和後果(consequence)；而缺陷(fault)、失誤(error)和缺點(defect)則是物品的狀態(state)和引起失效根本原因(cause)，在單機模組功能層次稱為缺陷，在軟體層次和人為操作方面稱為失誤，在實體方面稱為缺點；另外，在材料層次造成裝備或系統失效的根源，一般稱為瑕疵(flaw)。失效、缺陷、失誤、缺點與瑕疵等與品質、可靠度、安全度等之間的關係如圖2所示。

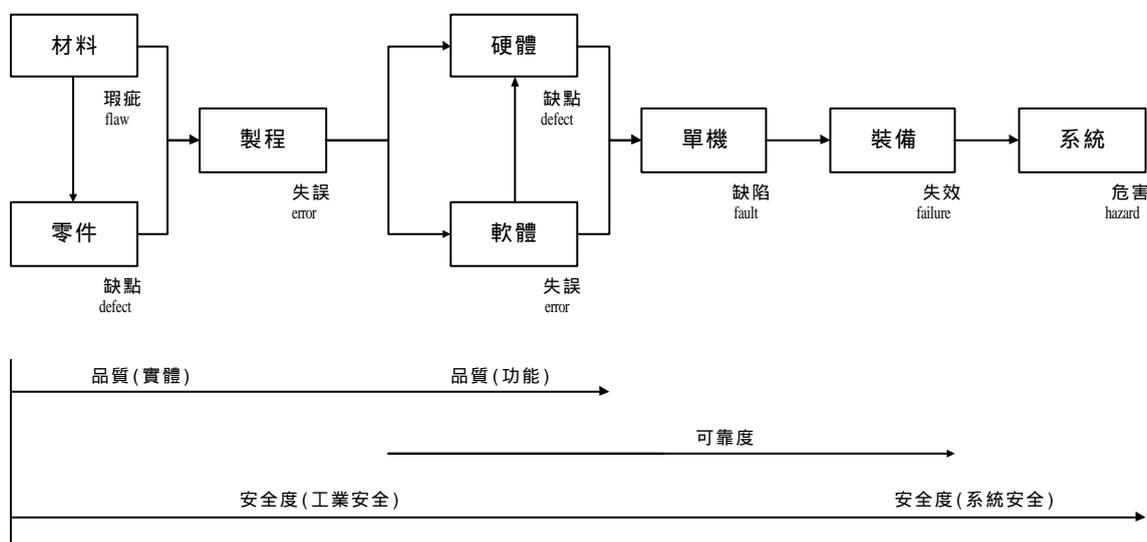


圖2：失效缺陷失誤與缺點之關係

3 失效模式

失效模式(failure mode)為描述物品失效現象的方式，可以解釋為產生失效所發生的物理過程或這些過程的綜合效應。各種零組件在使用時所發生的失效現象，經過適當的整理後，可以歸納成幾種代表的失效模式，如此可簡化對於失效問題的分析、失效

原因的調查與研究、以及改正對策的研擬與執行。以下首先舉例說明各類產品失效模式的種類，然後討論有關失效模式編碼的問題，以因應大量失效資訊的處理需求及電腦資訊自動化的時代潮流。顯然的，一個產品不可能只有一個失效模式，因此，每一失效模式發生的比例亦是失效分析不可缺少的資料。

3.1 失效模式分類

一般電子零件可分為主動元件和被動元件兩類，常見的主動元件例如：微電路、半導體、晶體振盪器、變壓器、電阻、電容等；被動元件包括：開關、連接器、接頭等。對主動元件而言，其失效模式頗為單純，其中最常發生、也是最主要的失效模式為開路或斷路(open)、短路(short)、漂移(drift)及不穩定(unstable)等四種。開路失效和短路失效屬於破壞失效，是從結構特性方面考量的；而漂移和不穩定則為老化失效，屬於功能方面的特性，隨著時間的經過特性就變了，在任務時間之前就超出規格範圍，無法發揮其應有的機能，例如電容器的老化型漂移失效模式有絕緣下降、靜電容量減少、雜訊發生及損失係數增加等。被動元件的失效模式又可分為電氣失效和機械失效兩類。

根據Collins(1981)的定義，常見的機械失效模式有下列十九個項目：(1).腐蝕失效：腐蝕有許多種形式，例如坑洞、應力、凹孔、直接化學侵襲、磨蝕、及電化反應等；(2).擦損或磨蝕失效：擦傷失效有三種類型，擦傷疲勞、擦傷磨耗、及擦傷腐蝕；(3).潛變及挫曲失效：此類失效包括三種類型，潛變、挫曲、潛變挫曲；(4).腐蝕疲勞及磨耗失效，包括腐蝕疲勞與腐蝕磨耗；(5).疲勞失效：疲勞有許多種形式，例如：熱、高循環、擦傷、低循環、及表面疲勞等；(6).硬化、降伏、及失效；(7).磨耗失效：磨耗有許多種形式，例如：撞擊、黏著、擦傷、變形、磨擦、腐蝕、及表面疲勞等；(8).延性破裂與應力破裂失效；(9).撞擊失效：此種失效的分類包括：撞擊疲勞、撞擊破裂、撞擊擦傷、撞擊變形、及撞擊磨耗等；(10).脆性破裂失效；(11).複合潛變與疲勞失效；(12).熱衝擊失效；(13).熱鬆弛失效；(14).應力腐蝕失效；(15).擦傷與抓傷失效；(16).力量引起彈性變形失效；(17).溫度引起彈性變形失效；(18).複合力量與溫度引起彈性變形失效；(19).輻射損害失效。

RADC發行之非電子件失效率資料NPRD-3中將常見的失效模式分類歸納為59種，包括：(1).磨耗/用壞(worn out)，(2).破碎(broken)，(3).倒塌(collapsed)，(4).龜裂/破壞(crack/fractured)，(5).撕裂/撕破/割裂(ripped/torn/cut)，(6).破裂(ruptured)，(7).疲勞(fatigue)，(8).破損(frayed)，(9).缺口(breach)，(10).凹痕(dented)，(11).斑點(pitted)，(12).條紋(stripped)，(13).擦傷(chafed)，(14).抓痕(scored)，(15).挫曲(buckled)，(16).變形(deformed)，(17).彎曲(bent)，(18).歪曲(warped)，(19).實體位移(physical displacement)，(20).卡死(seized)，(21).粘著(sticking)，(22).束縛(binding)，(23).振動(vibration)，(24).鬆動(loose)，(25).扭曲/失真(distorted)，(26).不正(mis-aligned)，(27).阻塞(clogged)，(28).堵塞(jammed)，(29).燒毀(burned)，(30).過熱(overheated)，(31).洩漏(leaking)，(32).污染(contaminated)，(33).潤滑喪失(loss of lubrication)，(34).腐蝕(corroded)，(35).惡化(deteriorated)，(36).退化(degraded)，(37).開路(opened)，(38).卡住打開(stuck open)，(39).短路(shorted)，(40).卡住關閉(stuck closed)，(41).過弧(arcng)，(42).噪音/雜訊(noisy)，(43).漂移(drift)，(44).不穩定(unstable)，(45).超出規格(out of specification)，(46).超出公差(out of tolerance)，(47).變弱(weak)，(48).失調(out of adjustment)，(49).無運動(no movement)，(50).不操作(no operation)，(51).工藝(workmanship)，(52).不定的(erratic)，(53).錯誤反應(false

res-ponse), (54).不正常流動(improper flow), (55).不正常時序(improper timing), (56).誘發的(induced), (57).間歇性的(intermittent), (58).其他(other), (59).未知(unknown)。

一個機械裝置的固體零件可以視為是由結構與接觸元件所構成的, 根據 Mittenbergs(1965)之定義, 結構元件的基本失效模式包括: 破裂、變形及不穩定(彈性或塑性挫曲)等三種, 影響這些失效模式有許多因子, 例如: 環境、零件尺寸、材料、負載的情形、零件的形狀、材料的特性、以及零件的表面狀況等。與時間(或循環數)有關的結構元件失效模式, 包括: 疲勞、潛變挫曲、潛變、潛變破裂等。接觸元件也有許多失效模式, 例如: 抓傷、擦損、應力腐蝕、磨耗、擦傷、腐蝕、及表面疲勞等, 在此必須特別注意的是這些失效模式都是與時間有關的。

因衝擊負載而產生的失效模式, 包括: 斷裂、變形、磨損與疲勞。因振動而引起的失效模式, 包括: 疲勞、磨損、腐蝕。因溫度急劇變化造成大的溫度梯度引起的熱應力而造成的失效模式, 包括: 斷裂、變形。

非金屬件的失效模式, 包括: 老化、變質、粉化、腐爛、霉變、失光、斷裂、磨損、變形。

根據以上各種失效模式的分類情形, 可以將這些失效模式綜合歸納為下列七大類:

- (1). 破損型失效模式, 諸如: 斷裂、碎裂、開裂、裂紋、點蝕、燒蝕、擊穿、變形、拉傷、龜裂、壓痕等。
- (2). 退化型失效模式, 諸如: 老化、變質、剝落、異常磨損等。
- (3). 鬆脫型失效模式, 諸如: 鬆動、脫落等。
- (4). 失調型失效模式, 諸如: 壓力過高或過低、衝程失調、間隙過大或過小、干涉、卡滯等。
- (5). 堵塞性失效模式, 諸如: 堵塞、氣阻等。
- (6). 洩漏型失效模式, 諸如: 漏油、漏水、漏氣、滲油等。
- (7). 超規型失效模式, 諸如: 功能失常、性能衰退、超出規格、異常聲響、過熱等。

3.2 失效模式定義

各種失效模式之定義與特點說明如下:

3.2.1 應力環境失效模式

應力環境失效模式主要是零件或材料在受力的環境條件下，由於應力與材料的強度特性的互動結果發生的失效現象，大致可分為彈性變形、塑性變形、脆性斷裂、潛變、疲勞斷裂、熱疲勞斷裂、磨損等。

(1). 彈性變形失效：

由於零件受到工作負載或熱脹冷縮所造成的應力，使零件發生過大的彈性變形超過材料的撓度允許值而失效，此時零件所受的應力並未超過其彈性極限，應力與應變之間的關係由虎克定律所描述，材料的彈性模數越高，越不容易發生彈性變形失效。因此，材料的彈性模數是彈性變形的失效能量指標。另外，零件的慣性矩越高，也越不容易發生彈性變形，亦即可利用樑的幾何參數控制彈性變形失效。

彈性變形的特點是，在無負載或低負載時，或是在常溫下，元件的工作正常，而在大負載或非常溫下，元件操作不靈活，相對運動的零件表面出現磨擦現象。

(2). 塑性變形失效：

當零件的應力超過材料的屈服強度時，即產生過大的塑性變形、不能繼續工作的失效，稱為塑性變形失效。在已知外載負荷條件下，塑性變形失效的產生取決於零件截面積的大小、材料的屈服強度和設計時所選用的安全係數，因此，材料的屈服強度越高，發生塑性變形失效的可能性越小。

塑性變形很容易鑑別，如扭曲、彎曲、伸長、凹陷等，一般用肉眼即可觀察判斷。

(3) 脆性斷裂：

脆性斷裂發生時的工作應力一般並不高，破壞應力往往低於材料的屈服強度，或低於設計時的許用應力，亦即符合設計要求。結果在工作時認為是安全的情形，卻因發生斷裂而造成嚴重的損失。由於失效發生時，工作應力並不高，又稱為低應力脆性斷裂，另外此種失效一般發生於較低的溫度下，因此也有人稱之為低溫脆性斷裂。發生低溫脆性斷裂的原因之一，乃是有些材料的延性隨溫度降低而下降，當溫度下降到某一門檻值時，材料迅速轉化為脆性，此一溫度門檻值稱為韌脆轉換溫度。

脆性斷裂發生時，裂紋一旦形成，就迅速擴展，直到斷裂，脆性斷裂總是突然間發生的，斷裂之前宏觀的變形量很小，因此在斷裂發生之前不易觀察到任何徵兆。

(4). 潛變：

潛變是金屬材料在應力和高溫的長期作用下，產生永久變形的失效現象。晶粒沿晶界滑動產生移位是潛變的主要機制。

(5). 疲勞斷裂：

在交替循環應力多次作用下發生的斷裂稱為疲勞斷裂。疲勞斷裂是一般受力零件最常見的失效方式，約佔失效總數的60%~70%。

(6). 熱疲勞斷裂：

金屬材料在低於拉伸強度極限的熱循環應力反復作用下，裂紋緩慢產生與擴展導致的突然斷裂，稱為熱疲勞斷裂，也稱為熱疲勞。

(7). 磨損：

磨損是零件與零件或材料之間因接觸磨擦作用而發生的失效現象。磨損的機制相當複雜，至今並無統一的定義，依其特性大致可分為氧化磨損、咬合磨損、粘著磨損、磨粒磨損和表面疲勞磨損等。

3.2.2 介質環境失效模式

當零件表面與環境介質產生化學或電化反應時，使材料發生變質或腐蝕現象而失效。若加上力與熱的作用，可加速失效的複雜性，此類失效模式常見者包括腐蝕損傷、電化腐蝕、空蝕、應力腐蝕、腐蝕疲勞等。

3.3 失效模式編碼

失效的種類隨物品的特性而異，雖然依照失效的模式加以歸類，可以簡化失效的處理與分析，但面對那麼多的項目與敘述，要獲得具體有用的資訊，作為管制或決策之依據，則必須將各種失效加以編碼，每一種失效模式賦予一個代號，則不論是在失效的報告、分析，或是在採取行動項目時，將可簡化許多作業，特別是電腦資訊軟硬品均相當發達的現代，利用電腦之快速與大容量之特色做失效的處理與分析，將可達到時效與精確等方面的優勢。表1所示為一飛機系統之失效模式編碼案例。

3.4 失效模式分佈

每一種元件並不一定只會發生一種失效模式，將所有蒐集得之失效數據經過整理分析之後，即可找出每一失效模式大略發生的比例，稱之為失效模式分佈，以 α 表示之，常見零件之重要失效模式名稱及其大略發生之比例如表2所示。一般失效數據資料庫所提供的 α 值，乃是累積該元件所有可能發生的失效資料而得的，對於特定的設計而言，並不一定所有的元件失效都會發生，或者所有的元件失效都會造成系統失效(此一因子稱為失效效應機率，以 β 表示之，為一條件機率)，此點在需要精確的計算評估系統可靠度與失效機率時是不可忽視的因子。

表1: 失效代號編碼系統範例

編碼	失效說明
001	電晶體或積體電路失效
002	保養(與工作單元代號配合使用)
025	電容不正確
086	不正確的搬運、運輸或維修損壞
105	鬆動、損壞或遺失扣件(如螺帽、螺栓等)
138	風扇葉片損壞
152	渦輪噴嘴失效
167	不正確的張力或扭力
198	燃油污染
200	潤滑油滲漏
210	使用了不正確等級或型式的燃油或潤滑油
277	燃油噴嘴積碳
300	外物侵入、但未造成損害
301	外部造成的損害
303	因半固體外物(如鳥)所造成的損害
334	超出溫度限制
425	坑動、刻痕、破裂、刮痕或裂痕
476	因固體外物(如金屬、石頭等)損害
480	由於飛機意外事件造成的損害
602	由於相關裝備失效而引起的失效或損壞
632	消耗(如熱力電瓶、滅火機等)
667	嚴重的腐蝕
672	內建測試(bit)、假警告(fault alarm)
692	視頻有缺點
698	有缺點的電路卡、磁帶、程式或磁碟
799	非失效
800	非失效 - 拆卸及重裝以利執行其他維修工作
803	非失效 - 拆換定期更換件(TCI)
868	因無法在相同飛機發動機外部組件上重裝而拆除
870	因研究、測試或失效判斷而拆除
872	在飛機上的規劃性工廠維修時拆卸
878	拆除以便執行規劃性或特別檢查
917	藉NDI檢驗測出即將發生失效
957	無顯示

表2: 零件之失效模式分佈

零件名稱	重要失效模式	大略發生比例
軸承	潤滑劑流失或劣化	45
	污染	30
	不對準	5
	壓凹痕	5
	腐蝕	5
吹風機	軸承失效	50
	繞線失效	35
	滑環、碳刷及整流器失效	5
電磁式離合器	軸承失效	45
	內部機械退化而喪失扭力	30
	線圈失效而喪失扭力	15
橡膠管路總成	材料退化	85
	接頭配合部位機械失效	10
驅動及電機馬達	繞線失效	20
	軸承失效	20
	滑環、碳刷及整流器失效	5
伺服及轉速器馬達	軸承失效	45
	繞線失效	40
橡膠油封	材料變質	85
橡膠O形環	材料變質	95
止流及洩壓閥	閥門座惡化	50
	活門粘著(開或閉)	40
橡膠式振動隔離器	阻尼媒體退化	80
	彈簧疲勞	5

4 失效效應

失效效應乃指失效模式一旦發生時，對系統或裝備以及操作使用的人員和部署安裝的建築物所造成的影響。一般在討論失效效應時，先檢討失效發生時對於局部所產生的影響，然後循產品的組合架構層次，逐層分析一直到最高層及人員、財物所可能造成的影響。失效效應可以機率表示其程度，一般稱之為失效效應機率，以 P 表示。

對機械系統而言，以汽車為例，常見的失效效應包括：(1).漏氣，(2).操作費力，(3).電動窗不作用，(4).剎車有響聲，(5).冷卻不夠，(6).收音機不作用，(7).剎車不靈，(8).加力檔不靈，(9).車輛性能退化，(10).引擎不啟動，(11).駕駛盤不靈，(12).坐椅不穩定，(13).亂檔，(14).噪音，(15).跳動，(16).燃油有煙，(17).產生臭氣，(18).警示燈不靈，(19).耗油量太高，(20).漏機油，(21).漏水等。

5 失效原因

失效的發生不僅在系統或裝備的部署使用與支援維護階段，而在開發階段亦應加以考慮。失效發生的原因有：設計不當、設計審查的不充分、製程管理不熟練、操作或維護設備的不妥當等，另外失效的發生通常肇因於實際失效發生時更早的時間者較多。最近的失效原因有一個特徵，即雖然仍有像以往那樣起因於硬體者，但是來自軟體及人為因素的原因卻在增加。

造成失效的原因有許多種，Lipson (1980)將這些原因分為明顯的七大類別：(1).設計不當，(2).應用錯誤，(3).製造疵病，(4).磨耗，(5).安裝不正確，(6).其它零件失效，(7).性能逐漸退化。

就機械系統而言，以汽車為例，一般失效之原因大致可歸納如下：(1).裝配錯誤，(2).通氣不足，(3).零組件損壞，(4).速度、送料不正確，(5).搬運破損，(6).工具不當，(7).熱處理不當，(8).材料不良，(9).表面處理不當，(10).不齊，(11).工具裝設不當，(12).漏裝，(13).超出規格，(14).過熱，(15).扭力度不當，(16).量具不準，(17).負載過大，(18).控制系統不良，(19).包裝損壞，(20).間隙不良，(21).工具損壞，(22).夾持力不足，(23).工具磨耗，(24).潤滑不足。

就電子系統而言，以電容器為例，造成破壞性短路失效的原因包括：針孔、破碎、瑕疵、內有異物(特別是導電異物)、電極偏移及發熱等；造成開路失效的原因包括：焊錫不良、導線折損、電極強度不夠、固定不良、銅箔斷裂、焊接不良、冷焊等；造成絕緣下降的原因包括沾到異物和吸濕造成腐蝕；造成靜電容量減少的原因包括焊錫不良和含浸液量過少；造成雜訊發生的原因多數與導線形狀有關；造成損失係數增加的原因主要為附著異物、導電材料不良和焊接部位固定不良等。

6 失效機率

每一種物品的失效機率與其類別、特性、用途(軍用、民用)、工作模式(儲存、情態、操作)、環境條件(溫和、地面固定、地面運度等等)等均有關係。一般失效資料的來源包括：(1).實驗室試驗數據，(2).現場回饋或使用者抱怨資料，(3).類似裝備資料，(4).零件失效率資料庫(例如：MIL-HDBK-217，NPRD-3)。

失效機率的計算，在研發初期一般是以根據構成物品的各零組件的失效資料，利用可靠度預估的技術獲得的，當物品開始製造有實體硬品時，則可利用可靠度試驗的方法獲得。無論是利用預估或是試驗方法得到物品的可靠度數值，首先必須確定物品的可靠度模式。一般可靠度預估時，大部份的資料庫都是提供零組件的基本失效率(basic failure rate)資料，這些零組件基本失效率資料必須配合零件品質、使用環境與應力等修正因子之應用，可推算得到零組件的使用失效率。根據零組件失效率資料，配合系統或裝備之可靠度模式即可計算系統或裝備之失效機率(或可靠度)。除少數單發功能件外，大多數的裝備都可以用其構成組件的壽命作為其可靠度指標，一般應用時大多假設裝備的失效時間為指數分佈，亦即裝備的可靠度為：

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad (1)$$

其中 t 為裝備的操作時間， λ 為裝備的失效率，通常以百萬小時的失效次數(10^{-6} fr/hr)為其單位。對於失效時間呈指數分佈的物品，其失效率與平均失效間隔時間(θ , mean time between failure, MTBF)之間互為倒數關係，亦即：

$$\theta = 1/\lambda \quad (2)$$

失效率與操作時間的乘積(λt)為裝備操作使用 t 時間後預期可能發生的失效數目，當 λt 很小時，可靠度 $R(t)$ 可以下式近似求得：

$$R(t) \approx 1 - \lambda t \tag{3}$$

亦即失效機率 P_f 為：

$$P_f(t) \approx 1 - R(t) = \lambda t \tag{4}$$

上述關係式亦可應用於零組件之可靠度或失效機率，一般零組件之失效率如表3所示，只要確定零組件的操作時間 t ，即可計算零件之失效機率。若考慮失效模式分佈 α 之訊息時，假設零件失效率為 λ_p ，則每一零組件真正發生失效的機率為：

$$P_f(t) = \alpha \times \lambda_p t \tag{5}$$

表3a：一般機械零組件失效率資料

零組件名稱	失效率(10^{-6} ft/hr) (次數/百萬小時)
重載球軸承	20.0
輕載球軸承	10.0
輓柱軸承	5.0
軸	0.2
銷	15.0
傳動軸	40.0
正齒輪	10.0
螺旋齒輪	1.0
磨擦式離合器	3.0
磁性式離合器	6.0
重載彈簧	1.0
輕載彈簧	0.2
防震裝置	9.0
機械接頭	0.2
螺母、螺帽	0.02
螺柱、螺釘	0.02

表3b：一般液壓與氣壓零組件失效率資料

零組件名稱	失效率(10^{-6} ft/hr) (次數/百萬小時)
伸縮囊	5.0
金屬膜片	5.0
橡皮膜片	8.0
密合墊	0.5
過濾器	1.0
管路	0.2
管路接頭	0.5
重負載軟管	40.0
輕負載軟管	4.0
導管	1.0
壓力容器	3.0
洩放閥	2.0
手操縱閥	15.0
管制閥	30.0
活塞	1.0
汽缸	0.1
壓力表	10.0

表3c：一般電機零組件失效率資料

零組件名稱	失效率(10^{-6} ft/hr) (次數/百萬小時)
交流發電機	7.0
直流發電機	9.0
馬達	10.0
小型馬達	4.0
斷電器	2.0
變壓器	4.0
電纜(每千公尺)	4.4
架空電線(每千公尺)	12.5

表3d: 一般電子零組件失效率資料

零組件名稱	失效率(10^{-6} ft/hr) (次數/百萬小時)
半導體	0.02 0.5
電晶體	0.05 0.5
低功率PNP、NPN電晶體	0.050
所有類型的低功率二極體	0.220
金屬整流器	5.0
指示器	2.0 5.0
保險絲	5.0
記錄器	25.0
電池	1.0
面板儀表	4.6
所有類型的固定電阻	0.022
固定電阻器	0.5 1.0
可變電阻器	3.0 6.0
組合式可變電阻	0.068
所有類型的可變電容器	0.094
固定電容器	0.3 1.0
電解式固定電容器	0.380
紙、雲母、玻璃製固定電容器	0.066
塑膠製固定電容器	0.036
可變電容器	0.5 1.0
感應器	0.3 1.5
變應器	0.3 1.5
A F 變壓器	0.027
鐵心裝置	0.014
繼電器	0.2 4.0
開關	0.2 2.0
電閘	10.0 50.0
連接器	0.05 0.10
接頭	0.001 0.5
所有類型的電氣接頭	0.600

表3e: 一般工業用儀器零組件失效率資料

零組件名稱	失效率(10^{-6} ft/hr) (次數/百萬小時)
所有類型的溫度指示器	20.0
電子式溫度誤差放大器	60.0
所有類型的壓力指示器	8.0
氣壓式壓力傳送器	22.0
電子式壓力傳送器	8.5
所有類型的流量指示器	16.0
所有類型的位準感知器	24.0
電子式訊號轉換器	15.0
電子式記錄器	22.0

7 失效分析方法

當產品設計逐漸成熟時，可靠度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，考慮這些失效發生的原因及其對物品的可靠度的影響，這種工作稱之為失效分析，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)。

根據日本JIS Z 8115「可靠度用語」對失效分析(failure analysis)所下的定義為：「檢討物品潛在性或顯在性的失效機制(failure mechanism)、發生機率及失效效應，並加以採取措施加以改正所做的有系統的調查研究」。失效分析技術，除了需要各種物理與化學原理外，還得考慮運用各種與產品有關的相對應的固有工程與管理技術。

常用的失效分析方法有失效模式與效應分析(failure mode and effects analysis, FMEA)，失效模式、效應與關鍵性分析(failure mode, effects and criticality analysis, FMECA)，缺陷樹分析(fault tree analysis, FTA)，單點失效與共因模式分析(single point and common mode analysis, SP&CM)，與潛行線路分析(sneak circuit analysis, SCA)等，這些分析工作有的使用填寫表格的方法，例如失效模式與效應分析技術、失效模式效應與關鍵性分析技術；有的用圖解法，如事件樹分析技術、缺陷樹分析技術；有些是定性的分析法，如失效模式效應與關鍵性分析技術，有些則是定量的分析法，如缺陷樹分析技術。有的是從宏觀的、顯在的角色探討失效的行為，如單點失效與共因模式分析技術，有的是從微觀的、潛在的觀點探討失效的問題，如潛行線路分析技術。在這些方法中，現階段最常用的為失效模式效應與關鍵性分析技術和缺陷樹分析技術，不過由於前者的專業要求較鬆，一般工程與管理人員均可容易進行，因此普及性較廣，例如目前車輛產業(QS 9000)即將此技術視為品質改善必需的項目。以下就各種分析技術簡要加以說明。

7.1 失效模式、效應與關鍵性分析

失效模式、效應與關鍵性分析(Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, FMECA)是一種結構化、預防性的可靠度分析技術，利用表格為主要工具，透過分析過程以確立可能的失效模式，探討失效效應、發生原因、採行預防性措施，從而據以謀求改進的對策，以提高產品之可靠度。常見的FMECA表格如表4所示。

失效模式、效應與關鍵性分析的主要目的為：

- (1). 提供健全的失效資訊基礎，作為建立製程檢驗、測試標準、檢驗程序、檢試規範及其他品質管制措施之參考。
- (2). 作為設計審查之輸入資料。
- (3). 提供失效準則，作為可靠度分析之參考資料。
- (4). 提供安全設計及可靠度評估之資料。
- (5). 作為維護度分析作業之參考資料。
- (6). 發掘可靠度關鍵件或重要件，列入設計驗證及可靠度管制之重點。

(7). 輔助設計人員深入探討產品各層次可能發生之失效模式，發掘設計上之弱點，俾據以改進或防範。

表 4：失效模式效應與關鍵性分析表

零件或製程名稱：_____ 外界供應商：_____ 負責分析人員：_____
 設計/製造負責單位：_____ 工程提出時間：_____ 分析日期：_____
 相關單位：_____ 製造關鍵日期：_____

說明/目的	失效模式	失效效應	關 鍵 特 性	失 效 原 因	發 生 度	現 行 管 制 措 施	難 檢 度	風 險 優 先 數	建 議 改 正 措 施	負 責 部 門 與 完 成 日 期

基本上，失效模式、效應與關鍵性分析是由「失效模式與效應分析」及「關鍵性分析」兩部份所組成。這項設計分析技術的主要參考資料為美軍標準MIL-STD-1629A、國際標準IEC 812、及美國三大汽車所發行之FMEA參考手冊。

失效模式與效應分析為研究一物件失效對系統操作影響的結果或效應，然後根據其嚴重程度將每一可能的失效原因加以分類。完成失效模式與效應分析主要有兩種方法：第一種為「硬品法」，表列並分析每一硬品的可能失效模式；第二種為「功能法」，根據物品的輸出功能分析造成失效的可能原因。

對於簡單的系統，可選取硬品法或功能法其中的一種；對於複雜的系統，則可能需採用硬品法和功能法混合的方式作分析。

另外，根據分析考慮的硬品組合層次的順序可分為由較低組合層次(如零組件)起，漸增到較高組合層次，直到整個分系統、系統分析完成的「由下向上分析法」，和由較高的組合層次漸減到較低組合層次的「由上向下分析法」。由上向下分析法在作法原理上類似另一種可靠度分析技術 - 「缺陷樹分析」。

在實用上，功能法應用於硬品組合層次的定義還很模糊或很複雜的系統，因此多採用由上向下分析法。當系統的組合層次定義相當清楚，已經有完整的圖樣、工程設計規格數據時，則可採用硬品法和由下向上分析法兩種分法的組合。

7.2 單點失效與共同模式分析

單點失效(single point failure)為系統中某一單件的任何失效將造成系統的失效，而且此失效現象沒有複聯設計或其它操作程序可以補償。共同模式分析(common mode analysis)則在確定造成一組複置設備同時無法工作的事件，此一事件並非失效模式。一

一般而言，單點失效與共同模式分析可以和失效模式與效應分析一起執行，也可以單獨執行。這兩種分析法的程序與技術與執行FMEA類似。

共同模式失效主要是環境或安裝所造成的，例如溫度、衝擊、振動、電磁干擾等，這種失效模式以介面電纜、液壓管路、微波同軸線纜等最容易使複聯設計系統失效。

單點失效分析先設定失效模式，然後決定對系統所造成的效應。單點失效分析一般應用於複聯設計裝備或組件，決定單一硬品失效是否會造成複聯裝備同時無法工作，而造成系統失效。串聯系統中的任何一個裝備都是單點失效的根源，因為每一個裝備都是系統任務成功的要件。單點失效的例子：使用同一啟動線路設計的雙馬達系統，一般人都以為使用兩個複聯馬達會使系統更可靠，但是此系統中的單點失效組件(啟動線路)卻使系統同時失效；其他例子為使用同一電源供應器的兩個系統，為達到真正複聯的機能，必須使用兩套電源供應器。

7.3 事件樹分析

通常，一件起始事件或系統錯誤的發生可能會引起一系列的後果，其中有些會造成嚴重的影響。一般而言，不管一件起始事件的後果嚴重與否和因為起始事件而引發的後續事件的效應有很大的關係。為了確保能夠考慮到所有因為起始事件而引發的可能危險或有害後果，最重要的事為確定所有發生的後續事件及其次序關係，事件樹圖是達到此一目的最有系統與有效的方法。

建立事件樹圖時首先確定起始事件E，由起始事件會引發一些後續事件，所有可能的後果為 $C_{ij\dots k}$ 。由圖可以看出，每一項後果與起始事件所造成的後續事件有關，換句話說，每一項後果是由起始事件開始順著相關的一些後續事件依次所造成的結果，這些後續事件的順序關係即構成事件樹的路徑。接在起始事件之後可能有數個第1後續事件，明顯地，這些後續事件彼此是互斥事件，對於某一特定的第1後續事件會引發一些同樣彼此互斥的第2後續事件。因此，事件樹的每一路徑會造成一個相對的後果，而與此一路徑造成後果有關的機率為路徑中每一事件(條件)機率的乘積，亦即：

$$P(C_{ij\dots k} | E) = P(E_{i_1} | E)P(E_{2j} | E_{i_1}, E) \dots P(E_{nk} | \dots E_{2j}, E_{i_1}, E)$$

7.4 缺陷樹分析

一般系統分析方法可分為歸納法(induction)和演繹法(deduction)兩種。失效模式與效應分析為歸納法的應用，而缺陷樹分析法(fault tree analysis, FTA)則為演繹法。缺陷樹分析法為1962年貝爾實驗室所發展出來的安全分析技術，主要作為義勇兵飛彈發射控制系統的評估。由於對人員安全的關心以及快速大容量計算機的發展，後來這項技術廣泛地應用於核能電廠、化學工業、營建工程等有重大安全顧慮的系統上，以防止重大災害的發生。

缺陷樹分析，顧名思義，即對缺陷樹做分析工作。所謂缺陷樹乃以系統操作時所不希望發生的事件作為該樹狀圖的頂端事件，以演繹的方式，逐步找出導致該事件發生的事件或原因，而後將這些事件和原因依彼此之間的關係逐一繪成樹狀圖形，此即

為缺陷樹。缺陷樹分析即針對此一缺陷樹進行定性或定量的統計分析，以探求構成該頂端事件的各種原因中，何者是影響較大者，此即為該系統操作時的弱點，可作為改進或增加系統可靠度之重要指標。

缺陷樹分析的主要功能在能夠事先發掘系統中的缺陷和弱點，而於系統研發設計之初即能予以不斷的改進，使系統之可靠度達到預定之目標水準。因此，它的特性是在系統使用之前即可預測其後果，對於某些初期發展尚未累積經驗的系統而言，可避免因經驗不足所導致的研發不穩定的困擾，而對於已發展成熟的系統而言，更可充分發揮經驗累積的長處，作為系統改良的工具，使系統的使用效率達到最高點。

如前所述，失效模式與效應分析為歸納邏輯的應用，而缺陷樹分析則為演繹邏輯，FMEA是根據零組件的失效資料，由下而上推斷系統的失效模式及其效應，是一種向前推演的方式，而FTA則是由失效的模式與效應來找出其發生原因，是一種向後推演的方式。兩者之邏輯關係，互為順逆。兩者都是分析與改進系統可靠度的工具，其間的主要差別為：

- (1). FMEA 將失效按嚴重等級區分，FTA 則將失效按原因區分。
- (2). FMEA 可歸納出所有的失效模式，但 FTA 通常僅選擇較嚴重的失效模式來區分。
- (3). FMEA 以表格為分析的主要工具，而 FTA 係以邏輯圖形做為分析的工具。
- (4). FMEA 只對硬體進行分析，然 FTA 可兼顧軟體因素。
- (5). FMEA 之失效模式及效應常獨立考慮，FTA 則可表達出各失效事件與原因間的關係。

缺陷樹分析是由各種符號所繪成，所用的符號分為事件符號和邏輯符號兩大類，如圖3及圖4所示。缺陷樹分析程序一般可分為六個階段：

- (1). 定義：首先決定分析的主題，亦即頂端事件。頂端事件的決定，可依據 FMEA 分析報告、或設計、工程人員經驗上的研判，選擇最嚴重的失效效應作為頂端事件。頂端事件決定後，須重新定義其含義、範圍、程度，以利演繹工作之進行。
- (2). 資料搜集：欲進行 FTA，須對系統進行瞭解，並著手收集有關資料，如功能方塊圖、操作條件、失效率、修復率等，以利分析與計算。
- (3). 建立圖形：依據收集之資料，瞭解各零組件間之關係，及其失效發生間之關係，逐步由上而下建立樹狀圖形。此圖形將作為後續定性及定量分析之依據，因此務求正確、完整。
- (4). 定性分析：定性分析的特點在於不需要具有數據資料，亦可分析找出系統之弱點。本項分析之原理係依據布林代數，主要內容在於找出所有導致頂端事件發生之最小組合事件，以作為弱點分析及定量分析之基礎。

- (5). 定量分析：定量分析較定性分析需要更充分之資料，特別是數據資料，以計算頂端事件發生之機率，以及各事件對於頂端事件發生所具有的敏感性。
- (6) 系統改進：經定性或定量分析後，可發現系統在設計或使用上之弱點，提供作為改進系統之指標。此項改進可經 FTA 不斷進行，直到目標達成為止。

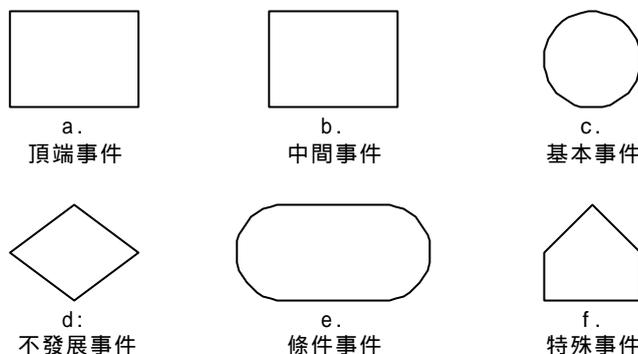


圖 3：缺陷樹分析事件符號

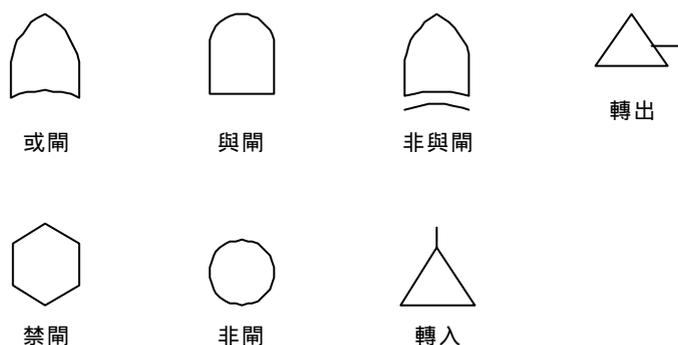


圖 4：缺陷樹分析邏輯符號

7.5 潛行線路分析

所謂潛行線路(sneak circuit)是指系統中的組件並沒有發生失效，但卻產生不預期存在的功能或使需要的功能無法達到的潛在路徑或狀況。潛行線路分析基本上是根據工程和製造文件而進行，分析並確定硬品設計中可能的潛行路徑以及對系統操作可能造成的影響，因而發掘設計問題。常見的佈線錯誤、遺漏、硬品與文件間的疏忽等，這些乃屬於不良設計或製造工藝，並不是潛行線路問題。

潛行線路分析技術對電子機械線路、分立類比與數位電路相當有用，由於這種分析相當花錢且需要應用電腦系統，因此，一般只針對關鍵性、對系統安全或任務成功有影響、較特殊的系統或功能作分析，對於可由商場採購得的電腦裝備如記憶體、數據處理裝備則沒有作分析的必要。

一般常見的潛行線路包括潛行路徑、潛行時序、潛行指示和潛行標識。造成潛行路徑的可能原因有：錯誤的開關邏輯(如人為誤失，軟體、噪音所引起)、訊號線路串話(如導線隔離或迴路不良，電感藕合)、機械振動(如繼電器顫動、麥克風噪音)等。造成潛行時序的原因有脈波時間太早或太慢、雜訊脈波(如主電源開關、接地問題、電源開啟時序)。造成潛行指示與標識的原因有單一指示器標示許多功能、系統介面問題(單件都符合規格，組合在一起卻不能工作)、規格公差累積效應、繼電器序列問題、機械開關邏輯問題、及外來的振動和衝擊等。

8 失效分析程序

失效分析所使用的各種方法，在實際應用上依所使用之技術與學識，可以將它們歸納為失效基本分析技術、失效工程分析技術、失效物理分析技術、失效統計分析技術和失效管理分析技術。若是以失效發生的時序加以區別，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。各種失效分析方法之應用情形如圖5所示。

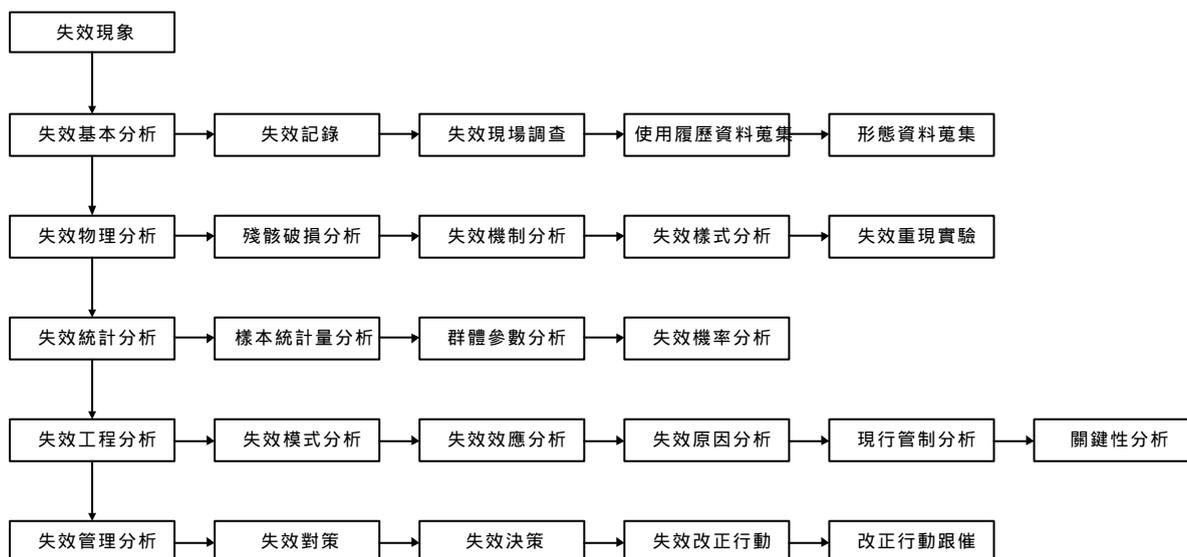


圖5：失效分析程序

8.1 失效基本分析

失效基本分析法乃是針對發生失效時相關基本資料的蒐集、彙整、處理、建立，所進行的失效分析方法，主要包括失效現象的記錄，例如失效發生時間、地點；失效現場調查，失效發生時的外觀和表面狀態，失效環境的調查；失效件的履歷資料，例操作狀況、最近的維修狀態等；以及失效件的形態資料，例如計畫或專案名稱、失效部位的組合層次等。

8.2 失效物理分析

失效物理分析(failure physics analysis)或可靠度物理分析(reliability physics analysis)技術又稱事中分析方法，其目的在於研究每一個個別物品(individual item)失效發生的原因、過程與機制，常見的分析方法有(1).直接調查失效物品本身的方法，利用一些破損分析技術與工具，觀察發生失效的部位或殘骸的化學或物理組成狀況；(2).探討失效前的應力狀態或失效的誘因，並且配合非破壞性檢測技術，調查容易發生失效部位的特性與狀態，然後研究這些項目與實際失效的關係，建立失效機制的數學模型及失效隨時間的變化樣式；(3).重現試驗，經驗證得到初步結論之後，再以模擬試驗的方式使失效重複出現，以驗證分析結果的真確性。

不論是何種方法，都需要應用檢測與分析產品物理和化學狀態的技術，前述的非破壞性檢測有助於失效物理分析的執行，在此敘述直接調查失效本身的方法。

8.3 失效統計分析

失效統計分析(failure statistical analysis)技術又稱為事後分析方法，主要是將所蒐集得到的各種失效相關數據進行處理、歸納與統計推論工作，以便從中得到一些代表性的結論。常用的統計分析技術包括：機率分佈的適合度檢定(goodness of fit)；機率分佈參數推論，如點推定(point estimation)與信賴區間推定(interval estimation)、參數檢定等；推測(projection)與預測(forecast)分析，如變異數分析、回歸分析、趨勢分析、時序分析等。

8.4 失效工程分析

失效工程分析(failure engineering analysis)技術又稱為事前分析法，此項分析的第一步工作是從工程的觀點，利用演繹及歸納等邏輯原理，探討失效的因果關係，獲得或掌握從定性的失效發生過程資料。

為有效的應用分析過程所得到的定性工程資料，通常必須將定性資料定量化，以便分析比較作為決策之依據。評點為將定性資料轉換為定量資料最常用的方法，由於資料本身的特性以及分析的目的不同，已經發展出來的轉換方法形形色色，一般較常用的有分級法與機率法兩種，近年來相當熱門的模糊數學亦可達到此一目的。失效工程分析過程中有關失效現象的處理、失效模式的建立、失效原因的探討、失效效應的評估、失效防護的考量等失效分析方法與邏輯關係如圖6所示。

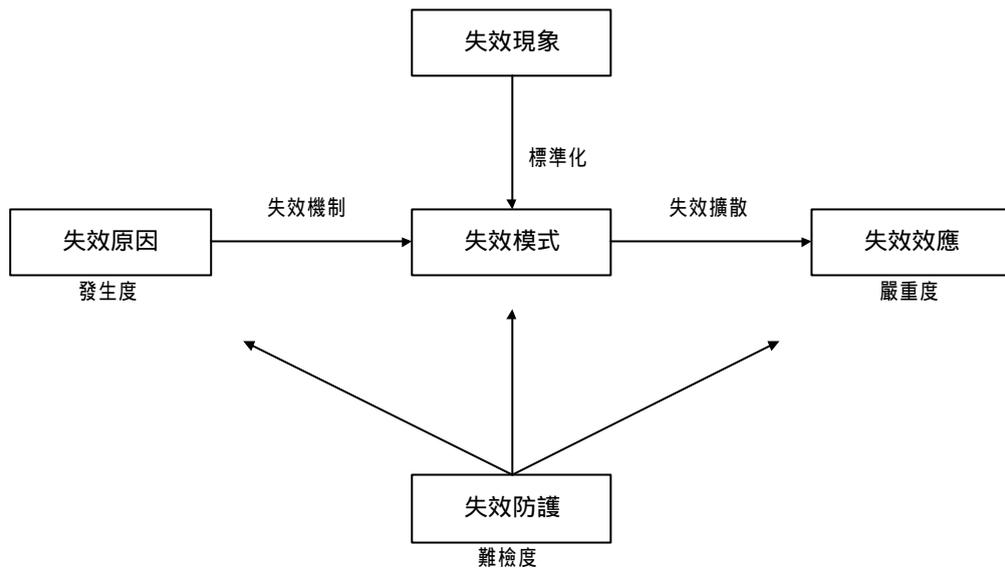


圖6：失效工程分析方法與邏輯

所有的分析結果經過整合後，並配合風險評定(risk assessment)與決策理論(decision theory)技術的應用，瞭解其根本理論基礎，才能有效的應用所有的分析結果，也因而才會作最佳的決策判斷和建議。常見的風險評定方法是將失效模式按各種因素考量後所得之指標，一般稱為關鍵性指數(criticality index, CI)，又稱為風險優先數(risk priority number, RPN)。在所有因素中以失效模式發生機率、效應嚴重等級、及失效檢測難易程度為最常見的項目。在評價失效模式之關鍵性時，首先使用評點技術，分別就發生機率、嚴重等級及檢測難度等三項因素給與一個評點值，這三項因素評點的乘積，即為每一失效模式之關鍵性指數，根據此一指數可以決定所有失效模式的優先順序，依此可決定在製程上應加強管理的重點項目。評點準則主要依系統與裝備的特性而異，表6至11為這三項因素的評點準則範例，可做為決定評點準則之參考。一般而言，關鍵性指數越高，表示該失效模式越重要，必須採取適切的預防或改正措施。

所有的分析結果經過整合後，並配合風險評估(risk assessment)與決策理論(decision theory)技術的應用，瞭解其根本理論基礎，才能有效的應用所有的分析結果，也因而才會作最佳的決策判斷和建議。

8.5 失效管理分析

8.5.1 失效對策

失效為造成產品品質與可靠度不能滿足使用者需求的根源，在瞭解產品失效之各種相關資訊後，最重要的是如何運用各種對策，無論是採用預防性或是改正性的方法，將失效的原因根本消除。然而，任何一種產品，其失效模式相當多，在有限的時間與成本限制條件，勢必採取重點式與分段式的決策行動來消除產品的失效。為順利完成此項決策，必須對失效從各種不同的觀點來作衡量，找出適當的評價準則，將各種失效模式按優先次序排列，然後決定必須採取改正措施或因應對策的失效模式。

8.5.2 失效改正行動

在獲得失效模式的關鍵性指數，確定於失效等級之後，對於等級較高者，可以循管理體系採取必要的預防措施及改正行動與改善對策等處置行動方案，決定需不需要變更設計資料、圖樣、各種程序，一般處置內容包括：

- a. 變更設計
- b. 採用高可靠度的零件
- c. 變更品質管制程序
- d. 變更試驗、檢驗等程序規範

表5a: 失效模式嚴重度之評點基準(一)

失效模式之嚴重程度(嚴重度)	評點
使用者不易發覺之輕微失效	1~2
影響外貌、降低機能等之次要失效	3~4
在操作時導致機能降低之主要失效	5~6
導致使用時無法操作之關鍵失效	7~8
導致人命或財物損傷等保安問題之致命失效	9~10

表5b: 失效模式嚴重度之評點基準(二)

失效模式之嚴重程度(嚴重度)	評點
對任務大部份無影響	1
對外觀、機能降低之輕微失效或次要失效	2
無法達成任務之輕微失效、但可使用輔助手段達成任務之失效	3
導致無法達成任務之輕微失效	4
無法達成一部份任務，但可使用輔助手段達成任務之失效	5
無法達成一部份任務	6
無法達成任務之重要部份，但可使用輔助手段達成任務之失效	7
無法達成任務之重要部份	8
無法達成任務，但可用替代方法達成一部份之任務	9
無法達成任務	10

表5c: 失效模式嚴重度之評點基準(三)

失效模式之嚴重程度(人、物損傷，安全性)(嚴重度)	評點
大部份不會受損傷	1
外壁振動、造成高問、外觀變色	2
手工具等設備受到部份損壞	3
間接設備、裝置受到損壞	4
無人員受傷，但是房屋及工廠內部受到損壞	5
人員輕傷、房屋及工廠內部受到損壞	6
人員重傷、房屋及工廠內部受到損壞	7
室內、工廠內發生死亡事故，房屋及工廠內部受到損壞	8
室內、工廠內發生死亡事故，房屋及工廠外部受到損壞	9
室外、工廠外發生死亡事故	10

表6a: 失效模式發生度之評點基準(一)

失效模式之發生機率(發生度)	評點
普遍不會發生	1~2
類似使用情形發生此種失效之機率較低	3~4
失效發生機率中等程度	5~6
類似產品中發生此種失效之機率較多	7~8
大致已確定失效會發生	9~10

表6b: 失效模式發生度之評點基準(二)

失效模式之發生頻度(次數/小時)(發生度)	評點
10^{-7} 以下	1
10^{-7} 10^{-6}	2
10^{-6} 10^{-5}	3
10^{-5} 3×10^{-5}	4
3×10^{-5} 10^{-4}	5
10^{-4} 3×10^{-4}	6
3×10^{-4} 10^{-3}	7
10^{-3} 3×10^{-3}	8
3×10^{-3} 10^{-2}	9
10^{-2} 以上	10

表7: 失效模式難檢度之評點基準

失效模式之檢測難易程度(難檢度)	評點
大部份可在製程中被檢測出來	1~2
大部份可以在成品完工檢驗或試驗時被檢測出來	3~4
大部份可以在顧客驗收或安裝時被檢測出來	5~6
可以在顧客操作使用之前被檢測出來	7~8
在顧客操作使用之前根本無法被檢測出來	9~10