

# 可靠度(*Reliability*)概論

## 品質管理-*for*計量技術人員

- 實驗室品質管理
  - 品質管制
  - 量測追溯性
  - 量測稽核
  - 校正報告應用實務
  - 可靠度概論
- 可靠度定義  
可靠度分類  
可靠度指標  
系統可靠度

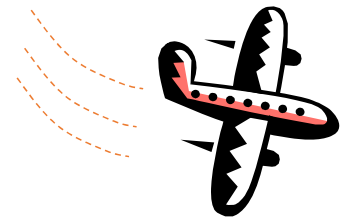
# 前言

- 人們注重產品品質，並且採取種種管制手段以維持和改進品質。
- 僅依靠品質管制並不足以保證產品到了現場的操作條件下能夠長期發揮其預定機能
- 使用壽命也是產品的一個重要要求

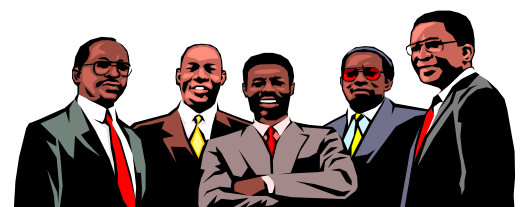
產品設計時必須考慮產品壽命與成本的關係，設計者應有下列何種觀念，以追求最能讓消費者接受的平衡點？

- ① 品質成本(quality cost)
- ② 使用成本(cost of usage)
- ✓ ③ 壽命週期成本(life cycle cost, LCC)
- ④ 計壽命週期品質成本(life cycle quality cost)

# 可靠度的濫觴



- 二次世界大戰，美國為了東南亞戰略在南方基地配置很多軍機，飛行中有半數的飛機都不見了，調查顯示：原來是對飛機極為重要的電子零件~真空管在還未飛行到達目的地時就發生故障，於是軍民一體緊急研商對策。
- 1940年末至1950年初：開始真正的可靠度研究與發展
- 1960年：美國發射月球衛星(阿波羅計劃)集可靠度之大成



# 可靠度(Reliability)的定義

- 可靠度亦稱為「機能品管(Functional quality control)」或「時間維度的品質(Time-dimensional quality)」。
- 定義：產品在預定期間或任務時間內、於要求之環境條件下可發揮其足夠功能的條件機率
- 可靠度具有下列要素：
  1. 以機率(Probability)表示。
  2. 可以衡量及測試，以評估該產品的功能(Performance)
  3. 涉及預測產品的壽命(Lifetime)。
  4. 必須界定產品的操作環境條件(Environment Stress)

例：本產品有95%的機率以大於90%的產能在溫度(20 ± 3) °C及相對濕度(60 ± 5) %的無塵環境下不失效地運作100小時。

5

# 可靠度的組成要素

- 時間
- 環境條件
- 功能
- 成功機率

1. 可靠度的定義是由哪些要素組成？(複選)

- ① 功能
- ② 使用條件
- ③ 時間
- ④ 成功機率

2. 下列何者「不是」可靠度的組成要素？

- ① 時間
- ② 使用條件
- ③ 量測不確定度
- ④ 特定功能

3. 下列有關可靠度敘述何者正確？(複選)

- ① 高品質表示高可靠度
- ② 可靠度不會隨時間變化
- ③ 可靠度可指儀器在工作期間能成功達成目標的機率
- ④ 可靠度因使用環境而異

6

# 失效(Failure)

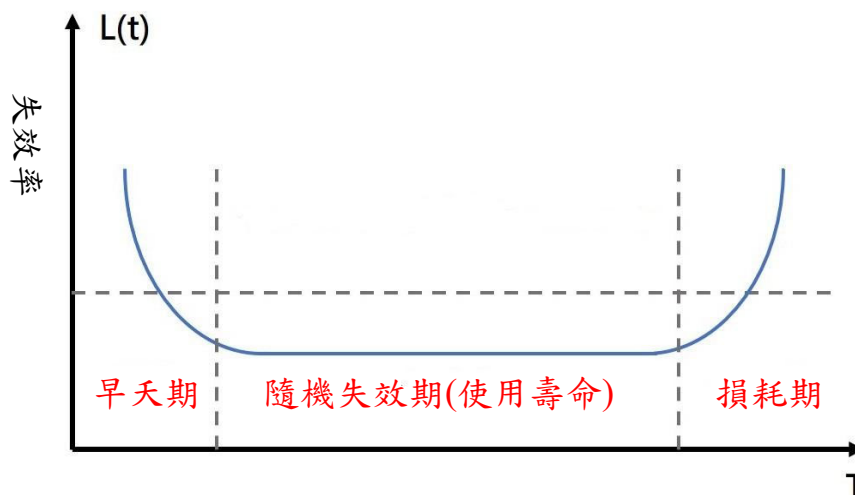
- 產品未能發揮預定機能之狀態，包括：
  - ◆ 故障
  - ◆ 不穩定
  - ◆ 功能減退



7

# 壽命曲線(浴缸曲線, *Bathtub curve*)

- 產品從啟用到報廢為止的整個壽命周期內，其可靠性的變化呈現一定的規律。
- 大多數產品的故障率是時間的函式，最典型的故障曲線為浴缸曲線。



8

## 練習題

1. 在可靠度工程實務上，常用下列何者來代表複雜零件的產品其壽命曲線？

- ① 作業特性曲線
- ② 浴缸曲線
- ③ 中心線
- ④ 品質成本曲線

2. 若兩廠商所生產的法定計量器在固定時間內的可靠度相同，兩者失效率的變化是否相同？

- ① 相同
- ② 相異
- ③ 不一定
- ④ 兩者失效率皆不會變化

3. 磨耗特徵明顯的機械產品，其失效率函數有何特徵？

- ① 隨時間增加
- ② 固定為0
- ③ 保持一固定失效率
- ④ 和時間必為線性關係

4. 電子產品的失效率通常何時較低？

- ① 使用初期
- ② 使用一段期間後
- ③ 使用末期
- ④ 不一定

5. 下列敘述何者錯誤？

- ① 失效率函數能顯示一批產品在不同壽命情況下失效率變化
- ② 同一個計量儀器在不同初始條件下的可靠度可能不同
- ③ 同一個計量儀器在不同使用條件下的可靠度可能不同
- ④ 計量儀器在使用初期的失效率必定最低

## 可靠度的意義

### ■ 定性的可靠度

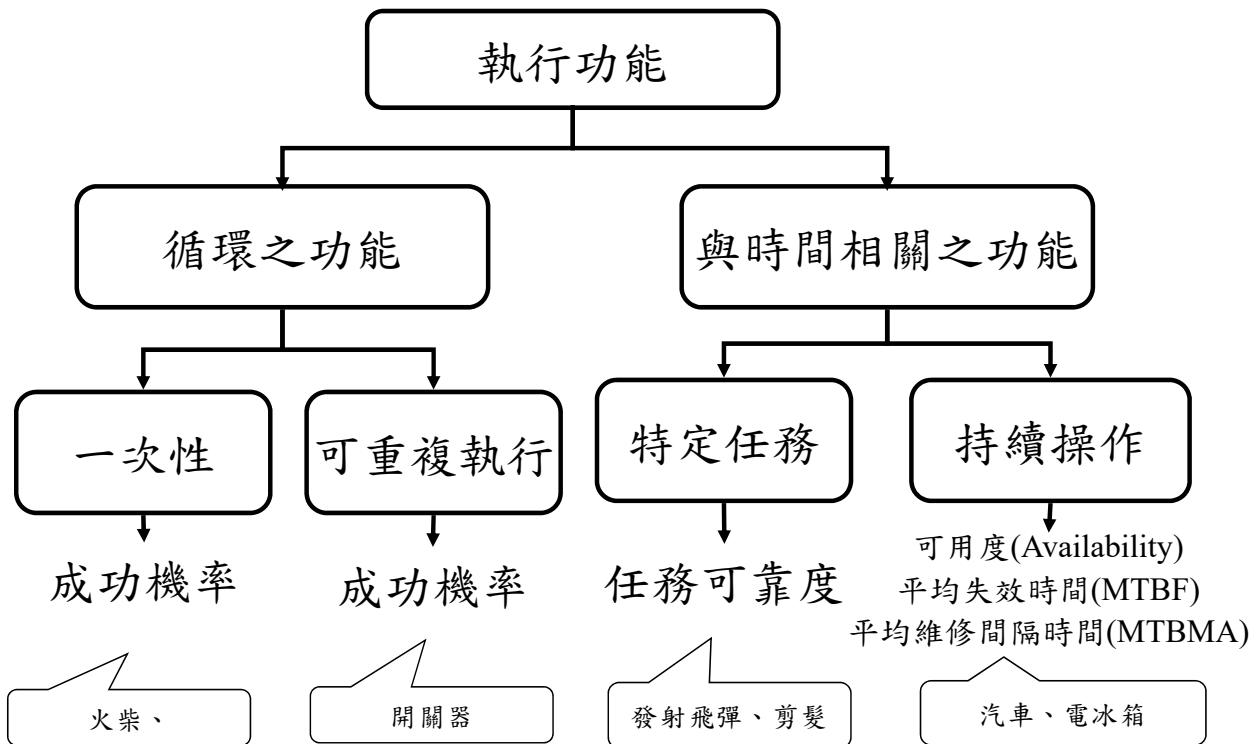
- ◆ 產品在既定的時間內，特定的使用條件下，執行特定功能，成功達成目標之機率

### ■ 量化的可靠度

- ◆ 產品不失效的機率
- ◆  $R = \Pr(\text{強度} > \text{應力} \mid \text{環境})$

### ■ Based on 機率 & 統計

# 可靠度的分類



# 一次性產品的可靠度

- 產品在其需求的特定實例中按預期執行的機率
- ex.: 火柴點火(產品：木質火柴)
  - ◆ 特定功能：火柴點燃
  - ◆ 特定的環境條件：一般環境條件
  - ◆ 特定的操作條件：可接受的點火方式
  - ◆ 特定時間：使用者需要的時間
- 可靠度：在特定環境和操作條件下的成功機率



$$R = P(S) = \frac{S}{N} = \frac{S}{S + F}$$

where  $P(S)$  = success probability  
 $N$  = number of trials  
 $S$  = number of successes  
 $F$  = number of failures

## 循環使用型

- 其可靠度也是產品的成功機率
- ex.:自動販賣機
  - ◆ 產品：特定功能：投出可口可樂
  - ◆ 特定環境條件：機器內有足夠的可樂且能正常操作
  - ◆ 特定操作條件：機器上的操作指示
  - ◆ 特定時間：當你投幣並選擇可樂鈕時
- 在特定環境和操作條件下的成功機率

$$R = P(S) = \frac{S}{N} = \frac{S}{S + F}$$

where  $P(S)$  = success probability  
 $N$  = number of trials  
 $S$  = number of successes  
 $F$  = number of failures

13

## 特定任務型

- 產品功能是與時間相關的，並且僅在指定的時間間隔內需要 ~ “任務可靠度”。

$$R = P(t)$$

- ◆  $R(t)$  = 指定期間( $t$ )內的可靠度  
 $t$  = 指定的任務持續時間
- ex.: 衛星發射火箭

14

## 持續操作型(Continuously operating items)

- 在不間斷的所有時間(或長時間下)能正常操作之產品
- 屬於無限的任務型式
- 將長時間切割成很多段時間  $t$  估算  $R(t)$
- *ex.:* 電力服務，全天能不間斷地提供電力服務的機率，亦即當作在無限需求時間裡虛構的任務，來估算其可靠度  $R(t)$ 。



## 可靠度的指標





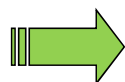
# 可靠度指標

- 可靠度最常用的指標有四個，分別為
  - ◆ 可靠度  $R$
  - ◆ 失效率  $\lambda$
  - ◆ 平均失效間隔(MTBF)
  - ◆ 平均失效時間(MTTF)

17

# 可靠度(Reliability) ( $R$ )

- 產品不失效的機率，當產品強度大於負荷(或應力)時，可確保其不會失效。故，一般量化的可靠度  $R$  可表示為  $R = \Pr(\text{強度} > \text{應力} \mid \text{環境})$
- 與時間有相關的可靠度可以  $R(t)$  表示， $R(t)$  表示在  $t$  時間點時，產品成功的機率  
 $R(0) = 1.0$        $R(\infty) = 0$
- 假設產品無法修復，當時間在  $t$  時，全部  $N_0$  個產品，有  $N_s(t)$  存活， $N_f(t)$  失效，則可靠度  $R(t)$  為



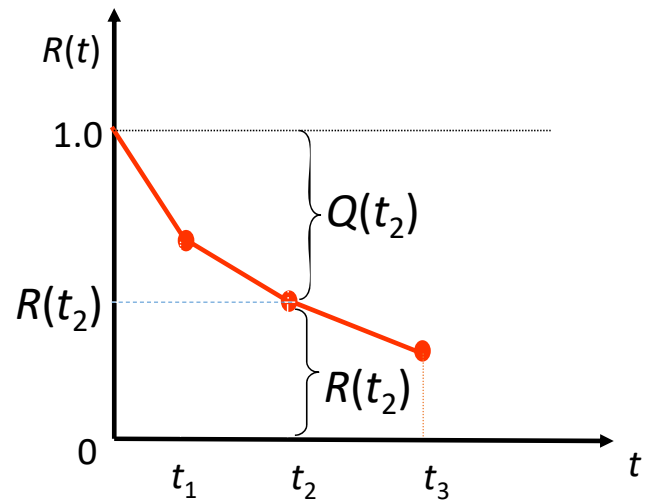
$$\begin{aligned} R(t) &= \frac{N_s(t)}{N_0} \\ &= \frac{N_s(t)}{N_s(t) + N_f(t)} = 1 - \frac{N_f(t)}{N_0} \end{aligned}$$

18

## 可靠度的趨勢

- $R(0) = N_S(0) / N_0 = N_0 / N_0 = 1$   
 $R(t_1) = N_S(t_1) / N_0$   
 $R(t_2) = N_S(t_2) / N_0$   
 ...  
 $R(t_i) = N_S(t_i) / N_0$
- $R(0) > R(t_1) > R(t_2) > \dots$   
 and  $R(t_i) \leq 1.0 \quad \forall t_i$

$R$  : 可靠度  
 $Q$  : 不可靠度  
 $R + Q = 1$



19

## 可靠度(續)

- 假設某產品之失效密度函數為  $f(t)$ ，則失效時間  $t$  小於  $t_A$  的機率為累積機率  $F(t_A)$ ，

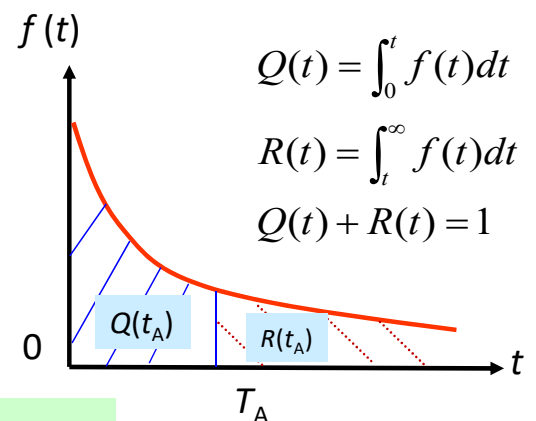
$$F(t_A) = \Pr(t < t_A) = \int_0^{t_A} f(t) dt$$

- 不可靠度 (unreliability) :

$$F(t) = Q(t) = 1 - R(t)$$

- 可靠度 (reliability) :

$$R(t) = 1 - Q(t) = \Pr(t > t_A) = \int_{t_A}^{\infty} f(t) dt$$



20

## 可靠度計算例

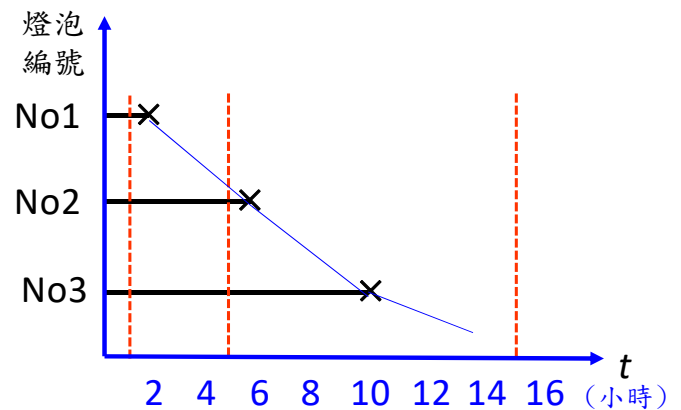
- 有3個燈泡，各運轉(點亮) 2、6、10個小時後失效，求運轉 1、5、15小時的可靠度分別為多少？

令  $R(t)$  表示在  $t$  小時之可靠度

則  $R(1) = 3/3 = 100\%$

$R(5) = 2/3 = 67\%$

$R(15) = 0/3 = 0\%$



21

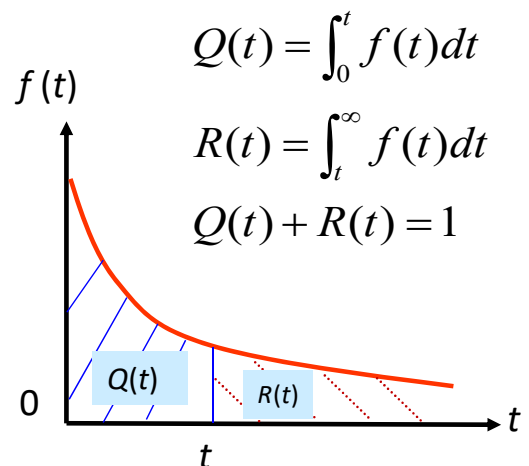
## 失效密度函數 (failure density function), $f(t)$

- 對累積機率  $F(t)$  裡的  $t$  作微分，可得  $f(t)$

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt$$

$$R(t) = 1 - Q(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

$$\begin{aligned} \frac{dR(t)}{dt} &= \frac{d}{dt} \int_t^{\infty} f(t) dt = f(\infty) - f(t) \\ &= -f(t) \\ f(t) &= \frac{-dR(t)}{dt} \end{aligned}$$



22

## 失效率 (Failure rate, $\lambda$ )

- 也稱故障率(或Hazard Rate)以  $\lambda$  符號表示
  - ◆ 為一個工程、系統或零件失效的頻率，單位通常會用每單位時間的失效次數
- 可分為下列兩種
  - ◆ 平均失效率( $\lambda$ )：
 
$$\text{平均失效率} = \frac{\text{(在此期間內的)總失效數}}{\text{總運轉時間}}$$
  - ◆ 瞬間失效率( $\lambda(t)$ )：
 

連續單位時間內發生失效的比率

下列何者「不是」電子產品失效率函數的特徵？

- ① 隨時間增加  ② 固定為0
- ③ 保持一固定失效率
- ④ 和時間可為線性或非線性關係

23

## 瞬間失效率 (Instantaneous failure rate), $\lambda(t)$

- 又稱為“危害率或失效率函數”
- 定義：在時間間距趨近於零時，時間  $t$  之失效率

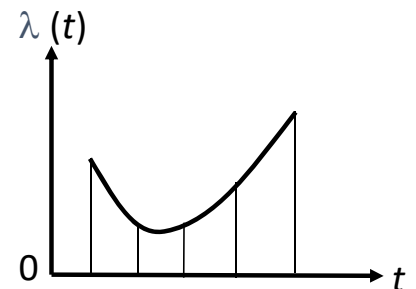
$$\begin{aligned}\lambda(t) &= \frac{dN_f(t)/dt}{N_s(t)} = \frac{1}{N_s(t)} \left[ -N_0 \frac{dR(t)}{dt} \right] = \frac{-N_0}{N_s(t)} \frac{dR(t)}{dt} \\ &= \frac{-1}{R(t)} \left[ \frac{dR(t)}{dt} \right] \quad \Longrightarrow \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}\end{aligned}$$

- $\lambda(t)$ 和 $R(t)$ 之關係：

$$\int_0^t \lambda(t) dt = -\ln R(t) \Big|_0^t = -\ln R(t)$$



$$\lambda(t) dt = \frac{-dR(t)}{dt} = -d[\ln R(t)] \quad \Longrightarrow \quad R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$



24

## 固定失效率 (Constant failure rate), $\lambda$

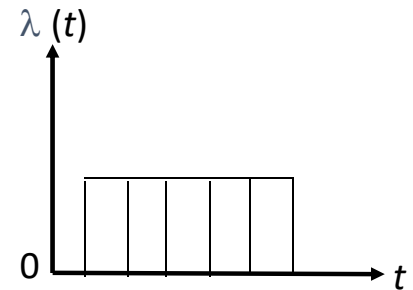
- 假設每一瞬間的失效率皆相同，則  $\lambda(t) = \lambda$

- $\lambda(t)$  和  $R(t)$  之關係：

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = e^{-\int_0^t \lambda dt} = e^{-\lambda t}$$

- 失效率機率密度函數  $f(t)$ ：

$$\begin{aligned} f(t) &= -dR(t) / dt = -de^{-\lambda t} / dt = -e^{-\lambda t} d(-\lambda t) / dt \\ &= \lambda e^{-\lambda t} \end{aligned}$$



25

## 平均失效間隔 (Mean Time Between Failure, **MTBF**)

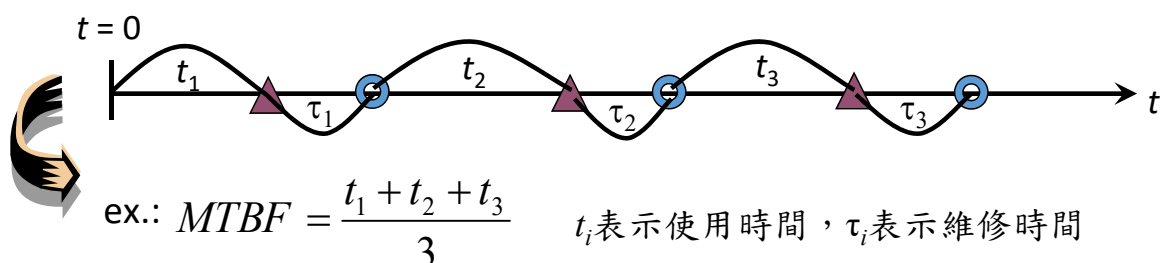
- 定義：平均無失效的時間

$$MTBF = \frac{\text{產品總運作時間}(T)}{T \text{時間內之總失效次數}}$$

某一可維修的產品，其平均無失效的時間稱為？

- ✓ ① 平均失效間隔時間 (MTBF)
- ② 平均失效時間 (MTTF)
- ③ 固定失效率
- ④ 平均維護時間 (MTTR)

- 對象：用於可維修的產品，即修即用
- 用途：可知產品有多少無故障時間可供使用，使用多少時間後最好先作維護或修理



26

# MTBF 與 $\lambda$ 之關係式



- From P.23 & P.27

$$MTBF = \frac{\text{總運轉時間}}{\text{失效次數}} = \frac{1}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad \text{時間/次數}$$

$$\lambda = \frac{\text{失效次數}}{\text{總運轉時間}} = \frac{1}{MTBF} \quad \Rightarrow \quad \text{次數/時間}$$

失效率(failure rate)與平均失效間隔時間(MTBF)互為何者關係？

- ①加法關係
- ②指數關係
- ✓③倒數關係
- ④減法關係

平均失效間隔時間(MTBF)較適合作為下列何項產品之可靠性評估指標？

- ①電池
- ✓②溫濕度記錄器
- ③燈泡
- ④火柴

27

# MTBF 之計算

- 有一檯燈點了80小時，其經過情形為：燈泡點10小時後故障，即刻更換新燈泡，又點25小時後故障再更新，又點30小時故障再更新，又點15小時後故障。試求此檯燈的平均失效間隔(MTBF)。

$$MTBF = \frac{10 + 25 + 30 + 15}{4} = 20$$

- 推測：該檯燈平均可使用20小時，便須更換燈泡，才得以繼續使用。

28

# 平均失效時間(Mean Time To Failure, MTTF)

- 定義：產品到失效為止的平均時間(平均壽命)

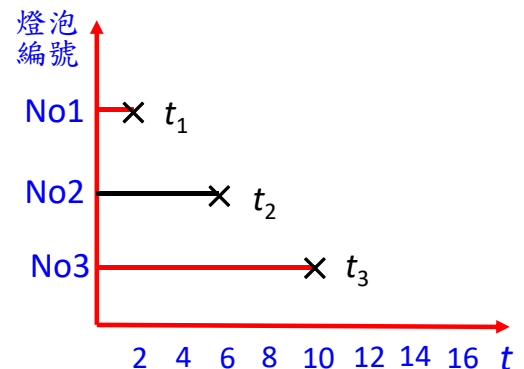
$$MTTF = \frac{\text{產品之壽命總和}}{\text{產品總個數}}$$

- 對象：不可修理的產品，用壞就丟

- 用途：

- ◆ 可知產品的平均壽命有多久(時間)
- ◆ 使用多久(時間)後預期會失效
- ◆ 對可維修之產品，MTTF可定義為產品初次失效發生之平均時間

$$MTTF = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$$



## MTTF 與 $\lambda$ 之關係式



$$MTTF = \frac{\text{總運轉時間}}{\text{失效個數}} = \frac{1}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad \text{時間/個數}$$

$$\lambda = \frac{\text{失效個數}}{\text{總運轉時間}} = \frac{1}{MTTF} \quad \Rightarrow \quad \text{個數/時間}$$

- 有3個燈泡，各點亮5, 6, 7小時後故障。試求此燈泡之平均失效時間(MTTF)？

$$MTTF = \frac{5 + 6 + 7}{3} = 6 \text{ hr/個}$$

$$\lambda = \frac{3}{5 + 6 + 7} = \frac{1}{6} \text{ 個/hr}$$

某受測品6個一起進行測試，測試期間若有失效即立即將失效品更新。現紀錄得測試進行至840小時時就有8次失效發生，因測試者發覺測試有誤，故決定立即停止測試，依上述數據請估計該品之MTTF值。？

- ① 17.5 hr    ② 630 hr   ③ 1120 hr   ④ 40320 hr

## 其他相關參數

### ■ 維護度

- ◆ 維護度是失效的系統，在特定的停工(down time)時間內能回復操作之容易度(或機率)。
- ◆ 停工時間包括偵測失效原因的時間、修理時間、行政管理時間和後勤時間。
- ◆ 維護系統的容易度與系統的設計有密切關係。

### ■ 修理度

- ◆ 修理度是失效的系統，在特定的修理時間內能回復操作之容易度(或機率)。
- ◆ 修理系統的容易度與系統的設計，技術和適合的零件規格有關係。

31

## 其他相關參數

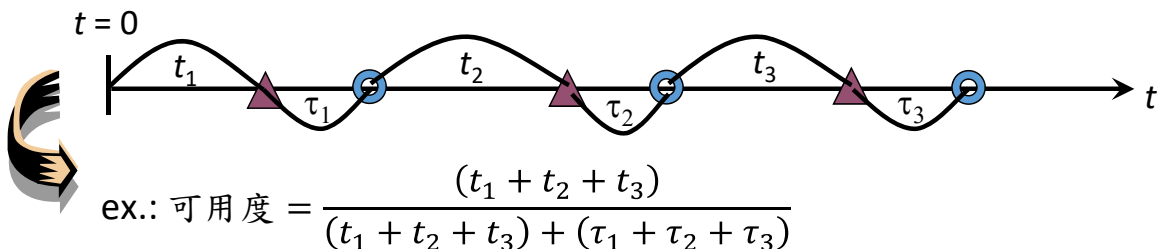
### ■ 可用度

- ◆ 可用度是系統在特定時間內能夠正常運作之容易度(或機率)
- ◆ 可用度為系統運作時間對系統運作時間加上停工時間之比例。

「運作時間」除以「運作時間+修理時間」的百分比，稱之為？

- ① 可靠度(reliability)
- ② 有效性(validity)
- ✓ ③ 可用度(availability)
- ④ 保用(warranty)

$$\text{可用度} = \frac{\text{產品運作時間}(T)}{\text{產品運作時間} + \text{停工時間}}$$



$t_i$ 表示使用時間， $\tau_i$ 表示維修時間

32



# 可靠度的適用對象

- 產品可區分為下列不同階層
  - ◆ 系統(System)：泛指所有執行任務所需的一切軟、硬體，包括主要設備及周邊設備。
  - ◆ 子系統(Subsystem)或稱裝備(Equipment)：為系統的一部份，具有執行系統中一部份功能的能力。
  - ◆ 模組(Module)或稱裝置(Device)：為子系統的一部份，在子系統中具有單獨特定功能。
  - ◆ 組件(Component)：為模組的一部份，由基本的零件組合而成，是系統中最低階的組合體。
  - ◆ 零件(Part)：是系統中最基本的單元，無法再將之分解。
- 所以各階層之間的關係為：  
系統 ⊃ 次系統 ⊃ 模組 ⊃ 組件 ⊃ 零件
- 可靠度問題的探討可針對每一階層進行之

33

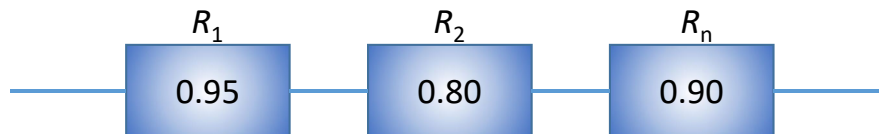
# 系統可靠度

- 一個複雜的產品/系統可以包含多個子系統，和多個模組、組件、零件等。
- 這些部件(模組、組件、零件...)間的組合方式和各機件之可靠度是影響產品或系統可靠度的主要原因。
- 組合方式
  - ◆ 串聯系統
  - ◆ 並聯系統
  - ◆ 並聯和串聯合併

34

# 串聯系統

- 串聯的組合方式是部件間一個接一個結合在一起。
- 若有一個部件失效，則整個系統就失效。
- 如同一個鎖鏈，其中一環故障，整個鎖鏈就故障



- 系統可靠度為

$$R_s = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n = \prod_{i=1}^n R_i$$

在串聯設計中加入零組件，則系統可靠度將如何變化？

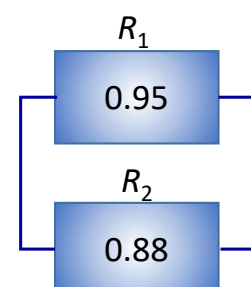
- ① 不一定 ② 不變  
③ 提高  ④ 降低

# 並聯系統

- 為增加系統之可靠度，部件以並聯方式結合。
- 當系統中只有若干個部件失效時，並不造成系統之失效。
- 只有在所有部件都失效時，系統才失效。
- 假設並聯系統包含  $n$  個相互獨立的部件，每個部件之可靠度為  $R_i$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ，則系統可靠度為：

$$R = 1 - (1-R_1)(1-R_2)\dots(1-R_n)$$

$$= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

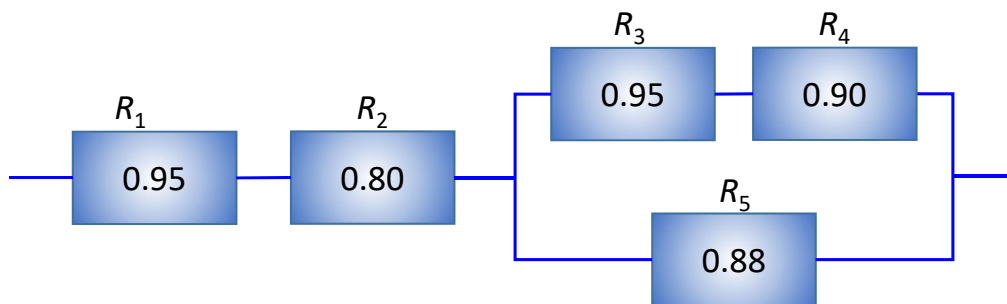


在並聯設計中加入零組件，則系統可靠度將如何變化？

- ① 不一定 ② 不變  
 ③ 提高 ④ 降低

# 並聯和串聯合併

- 並聯和串聯的結構看似複雜，其實是相當容易瞭解的。
- 簡化計算總可靠度的步驟如下：
  - ◆ 在任何並聯的結構內計算串聯零件之可靠度。
  - ◆ 將每個並聯的結構簡化為串聯的可靠度。
  - ◆ 將每個串聯的可靠度相乘直到總可靠度被計算得。

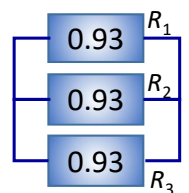


37

# 系統可靠度計算練習題

22. 若一組件可靠度為0.93，試問；若其採用三個相同組件並(併)聯設計之系統可靠度為何？

- ①  $1-(1-0.93)^3$     ②  $0.93 \times 0.93 \times 0.93$     ③  $0.93 + (1-0.93) \times (1-0.93)$     ④  $1-0.93^3$



23. 若四組件之可靠度分別為0.96、0.94、0.93及0.95，試問；若其採用串聯設計之系統可靠度為何？

- ①  $1-(1-0.96) \times (1-0.94) \times (1-0.93) \times (1-0.95)$     ②  $(0.96+0.93)/2$   
 ③  $0.96 \times 0.94 \times 0.93 \times 0.95$     ④  $(0.96+0.94+0.93+0.95)/4$

24. 三組件A、B及C之可靠度分別為0.95、0.97及0.93，原採串聯系統設計，今若改採並(併)聯系統設計，試問，並(併)聯系統之可靠度為多少？

- ① 無差異    ② 提升14.29%    ③ 提升7.87%    ④ 降低14.29%



25. 若某組件的設計壽命可靠度為0.95，求在無共同失效模式的前提下，求兩組件並聯後的可靠度。

- ① 0.05    ② 0.9025    ③ 0.95    ④ 0.9975

38

## 小結

- 可靠度評估的的優點
  - ◆ 藉此判斷產品的壽命
  - ◆ 藉此了解使用時間與故障發生的關係
  - ◆ 藉此推測運轉中產品其未來的運轉狀況

# The End