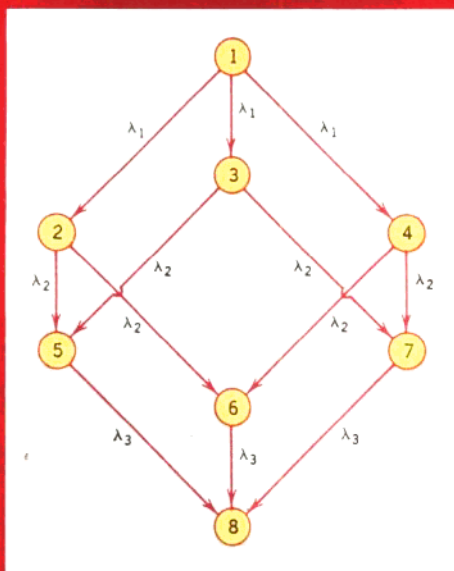


可靠度工程導論

Introduction to Reliability Engineering

原著者：Elmer E. Lewis

譯述者：趙淳霖



科技圖書股份有限公司

TB1 921513
90264

可靠度工程導論

*Introduction to
Reliability Engineering*

原著者：Elmer E. Lewis

譯述者：趙淳霖

科技圖書股份有限公司

行政院新聞局登記證 局版台業字第 1123 號

版權所有 • 翻印必究

可靠度工程導論

原著者：Elmer E. Lewis

譯述者：趙 淳 霖

發行人：趙 國 華

發行者：科技圖書股份有限公司

台北市重慶南路一段 49 號四樓之 1

電 話：3118308 • 3118794

郵政劃撥帳號 0015697-3

七十八年七月初版

特價新台幣 200 元

可靠度工程叢書

- | | | |
|----|---------------------|-------|
| 1. | 元心山，趙淳霖譯述，工程設計可靠度 | 220 元 |
| 2. | 趙淳霖譯述，可靠度工程—新技術與應用 | 150 元 |
| 3. | 趙淳霖譯述，應用產品壽命數據分析 | 270 元 |
| 4. | 趙淳霖譯述，品管、可靠度及工程設計 | 150 元 |
| 5. | 趙淳霖譯述，系統可靠度工程—設計與操作 | 160 元 |
| 6. | 趙淳霖譯述，實用可靠度工程 | 180 元 |
| 7. | 趙淳霖譯述，可靠度工程導論 | 200 元 |

譯 序

英、美兩國近年來出版很多有關可靠度工程的基礎書籍，但以教科書的觀點來看，這本書可算是最好的一本書。其最大特色是全書包括近 100 個例題，每個重要小節之下都附有一個例題，這些例題不只解釋清晰，而且範圍更涉及各類工程行業。另外各章所附習題總計有 200 多題，也都是非常實用的問題。本書內容除介紹可靠度基礎學識外，對於裝備維護及系統安全也都有扼要的說明。本書另一個優點，是並未涉及深奧的理論和高等數學，讀者如具備大專高年級的程度都可充分瞭解。

在今日高科技及精密工業時代，可靠度的應用範圍已擴張為跨越各類工程的基本學科。機械、電機、電子等工程離不開可靠度，土木、建築、化工等工程同樣對於可靠度也不可疏忽。以往採用安全因數方法的工程設計，大多過度保守以致器材的浪費，小部分過分冒險又可能因超載而使裝備或設施的壽命降低。

根據可靠度進行工程設計，雖也無法達成完美，但它可提供一個成功或失敗的機率，使我們對於未來情況得有具體的認識。而設計時採用安全因數則無法確切預測未來的結果。這就是現代工業中可靠度工程迅速發展的主要原因，也是各國工業立足的基礎和競爭的利器。在工業先進國家中可靠度工程至少已有二、三十年的歷史，而我國可以說剛在起步，這是我們工業界和工程師們必須加緊追趕的方向。

我國目前工程教育，除工業工程科系外，其他工程科系極少講授有關可靠度課程。不過目前各專業工程師們對於可靠度工程至少應具有基本的認識，這樣對於工程規畫才会有周詳的考慮，所以對於機械、電機、電子、土木、建築、化工等，本書也是一本很好的參考書。

由於時間倉促，譯文不妥之處在所難免。且因部分專門名詞缺乏標準譯名，若干所用譯名亦恐不當。尚祈專家及讀者不吝匡正。

趙 淳 霖 謹識
中華民國七十七年冬

原 序

在工程實用方面，可靠度的觀念佔據日漸增高的地位。雖然機械、電機、或是化工系統各種分析應用的細節不同，但可靠度的意識是跨越各類特定工程的領域。在本書中我是根據各行業的交互觀點對於可靠度工程的理論與應用提供一個整體性的介紹，期望對於各種工程系學生及各項專業工程師都很有用。

本書是由美國西北大學一系列有關三、四年級可靠度工程的講義演變而來，該項課程的設計是爲了很多大學部工程系學生沒有足夠時間安排先修機率及統計課程，因而需要較多一層的講解。同時我相信在學生時期以很多例題及極少高深數學將可靠度觀念加以介紹，可使他們在以後工程設計工作中對於上項資料適切應用，同時也可進行追求更深的理論。

本書內容是假設讀者在數學方面已完成普通微分方程課程，此爲一般大學工程學系的標準課程。關於機率或統計學則無需預先修習，在此方面本書均已簡捷說明。由於本書完全集中於可靠度問題，所以不可作爲廣義工程統計的教本，這兩門課程應屬於互相補充的情形。

各章中的例題將近 100 題，同時各章另有習題超過 200 題，而且習題中約有半數答案彙列於全書之後。這些都是由不同工程行業中取得。對於例題、習題及其他資料的瞭解，都無需任何特定工程科學如機械、土木、電機、或其他學科的高深知識。大學工程學系前兩年的物理、化學、及其他工程課程足可提供一個充分的基本學識。

我在編寫此書時是期望有些彈性，俾教師可就學生背景及授課重點以及講授內容加以調整。如果學生對於機率及統計學已有初步瞭解，第二、三兩章可迅速予以複習。若重點不在可靠度試驗技術，則第

五章後面幾節亦可略去。對於希望瞭解安全的機率基礎以及與可靠度的關係，第六章是很重要的一章。以下各章均可單獨閱讀，最後第九章關於建立組件故障相互影響模式所介紹的馬可夫過程，並非第十章的先修資料。

Elmer E. Lewis
路 易 士

可靠度工程導論

目 錄

譯 序

原 序

第一章 概 說

1.1 可靠度定義	1
1.2 裝備性能與可靠度	3
1.3 可靠度要求條件	4
1.4 系統壽命週期與可靠度	5
1.5 本書內容簡介	8
參考書目	9

第二章 機率與抽樣

2.1 簡 介	10
2.2 機率基本觀念	10
2.3 離散隨機變數	24
2.4 計數值抽樣	34
2.5 接收試驗	41
參考書目	46
習 題	46

第三章 連續隨機變數

3.1 簡 介	51
3.2 隨機變數的性質	51
3.3 常態與相關機率分配	68
3.4 數據與分配	80
參考書目	91
習 題	92

第四章 可靠度與故障率

4.1 簡 介	98
4.2 可靠度特性	98
4.3 隨機故障	105
4.4 隨時間改變的故障率	111
4.5 故障型態	122
4.6 組件的更新	129
4.7 工程設計中可靠度問題	134
參考書目	141
習 題	141

第五章 可靠度試驗

5.1 簡 介	147
5.2 非參數估計法	150
5.3 檢別數據及加速試驗	157
5.4 參數估計法	165
5.5 故障率的估計	177
5.6 貝氏分析法	188
5.7 可靠度成長試驗	194
參考書目	199
習 題	199

第六章 負載、強度及可靠度

6.1 簡 介	204
6.2 單一負載可靠度	206
6.3 可靠度及安全因數	213
6.4 極值分配	221
6.5 故障率與重複負載	238
6.6 隨時間改變的故障率	245
參考書目	255
習 題	255

第七章 複聯結構

7.1 簡 介	261
7.2 並聯組件	263
7.3 複聯配置	278
7.4 多重複聯結構	290
參考書目	295
習 題	295

第八章 可修理的裝備系統

8.1 簡 介	301
8.2 預防保養	302
8.3 更新政策	313
8.4 改正維護	319
8.5 故障發現後的修理	324
8.6 故障未發生前的檢驗與修理	330
8.7 系統可用度	336
參考書目	346

習 題	347
-----------	-----

第九章 故障的交互作用

9.1 簡 介	352
9.2 馬可夫分析法	352
9.3 備用系統可靠度	362
9.4 多重組件系統	376
9.5 可用度	383
參考書目	391
習 題	391

第十章 系統安全分析

10.1 簡 介	397
10.2 人性的錯誤	399
10.3 分析方法	406
10.4 故障樹的構成	413
10.5 故障樹直接評估法	425
10.6 故障樹斷路集合評估法	433
參考書目	443
習 題	443

附錄A 有用的數學式

A.1 積分式	447
A.2 展開式	448
A.3 一階線性微分方程式的求解	449

第一章 概 說

1.1 可靠度定義

事實上在所有工程行業方面，可靠度觀念的地位都顯示有逐漸增高的趨勢。當我們對於系統的性能要求更好及成本更低時，跟着就會產生一個希望故障機率最小化的要求，無論這種故障僅足提高成本及造成不便或是嚴重威脅到公共的安全。有關該項故障機率性質及其發生機率最小化，在分析方面都已開發出很豐富的知識。一般來說，此項知識對於各種工程行業大部分都有詳盡的探討，因此使這類書籍的編纂成為可行，不過在可靠度一般內容方面是有很大的變化。實在說，對於不同系統就可靠度性質加以比較與對照，當可獲得有關故障的深刻瞭解與防範。所謂不同系統，最常見的例子如電腦、電動機器、能源轉換系統、化學及器材生產工廠、建築結構等。

就廣義來說，可靠度是與可信賴性、操作的成功，且沒有停機或故障等有密切關係，不過在工程分析方面我們要使它有一個計量的機率。因此，可靠度的定義是指組件、裝置、設備、或系統在一特定時間範圍及規定條件情況下，能順利完成所要求任務的機率。這個定義過於簡單，因此在應用時仍須再經一番研討。

可靠度一詞幾乎可應用於所有的事物，也就是這種原因使得所有系統、裝置、裝備、以及組件等各項名詞都出現於可靠度定義中。而每一個名詞包含或多或少不同的意義，例如對於系統可靠度來說，常會包括操作人員的錯誤，至於組件可靠度則不會有此種情形。再者，系統與裝備通常都是以裝置、組件、或元件構成。一般以機率表示可

靠度，無論分析目的名稱是什麼，它的內容意義總是很明確。本書大部分將以系統可靠度作為說明的對象，但我們瞭解系統可以任一名詞代替。再者，如果對於可靠度分析一定要區分，我們可想像系統是由一些相互作用的組件形成一個整體，而在必要時也可分為不同的階層，例如系統、次系統、組件、元件等。

所謂一個系統的故障是指它對於交付的任務完全停止執行，例如引擎停止轉動、構架全部倒塌、通信設施完全切斷，在此種情況下很明顯的系統業已故障。但是我們也時常需要對於故障給予一個計量的定義，使故障狀況在性能惡化或不穩定方面能有一個更精確的型態。例如一個馬達不能產生所規定的轉矩、一個構架的撓曲已超出指定的數值，或是一個放大器的增益低於規定的倍數，這也表示故障。再者，如電子裝備的操作時斷時續，或發生過渡偏差及機器生產的零件超出允差範圍，則又是另一種故障。

在可靠度定義中所謂時間，根據系統性質也有很大的變化。例如對於間斷操作系統，就必須規定是日曆時間或是實際操作的時間。又如循環性操作的開關，所謂時間則應以使用次數計算，若可靠度規定使用日曆時間，則必須規定開動與停止的頻率以及操作時間與總時間的比值。

最後有關系統操作條件的規定，在很多情況下也需要加強分析。此項條件大致可分為主要設計負載及環境情況的影響。在設計負載方面，例如一個構架必須支持的重量、發電機的電力負載、電信傳送系統單位時間接受資訊數量、飛機起落架承受衝擊力，至於不常發生的洪水或地震也應包括在條件之內。有關環境條件也可認為屬於負載，例如溫度的極值、塵埃、鹽份、濕度等也必須加以考慮。

除可靠度本身以外，其他一些數據也可用以表示系統的可靠度，例如平均故障發生時間及故障率。有關可修系統，可用度及平均修理時間同樣也可應用。此類及其他名詞的定義，以後在需要時將分別予以說明。

可靠度的定義在系統完成任務方面非常明確，不過對於故障型態並未加以區分。事實不只在故障機率方面我們有很多的考慮，對於不同故障型態預期的影響同樣要多加考慮，特別是不僅造成經濟損失及不方便，一些嚴重導致安全問題，更值得我們注意。有關係統安全分析及危害的評估必須與可靠度的計畫攜手並進。家庭電器製造廠一定要對可靠度特別注意，因為電器故障常會導致顧主的不滿是廠方主要的顧慮。此外，更須謹慎審查，務使所有故障不致產生安全問題，如觸電或甚至電死。有關其他系統如飛機引擎，則在可靠度與安全之間似乎沒有多大區別，因為大部分故障都會引發安全方面的災難。以上兩種情況，在以後各章中對於可靠度的檢討，都常會牽涉到安全問題。

1.2 裝備性能與可靠度

在工程方面，大部分的努力都是有關設計及製造性能更佳的产品。我們盡力期望獲得較輕較快的飛機、更高效率的能源轉變裝置、速度更快的電腦、以及更大更耐久的建築。爲了追求這樣目標，在設計方面我們常會要求其特性必須較舊有性能差的产品爲優且更可靠。不過在性能與可靠度之間的交換條件常是具有微妙的關係，一般來說都是牽涉到負載、系統的複雜性、以及新材料及新觀念。因此，任何包括在性能及可靠性改善的产品，在工程設計方面都是一個顯著的進步。

一般所謂負載都是指機械方面對於一個結構所引發的應力而言。不過我們現在要給它一個更廣泛的解釋，它可以是由溫度所導致的熱負載，對於一個發電機的電力負荷，甚至屬於電訊方面的資訊負載。無論對於系統或組件負載的性質如何，由於負載的增高常會獲得性能的改進。因此，減輕飛機重量可使其應力水準增高；而在高熱效能情況下可使材料減少由高溫所導致強度及銹蝕方面的損失；在電訊系統中容許不斷增大的資訊流量，可使切換或其他數位電路操作頻率趨近其極限。這種對於系統或組件操作頻率接近極限的情況，將會造成故

障次數的增高，除非我們能採用適當的補救辦法。爲了避免在性能極限的不確定情形，在規格方面我們要更純的材料、嚴格的尺寸允差、以及其他條件，使我們操作接近極限而不致增加超出的可能性。

系統的性能通常都可藉增加其複雜性而得以改進，所謂複雜性一般是以所需組件數量多寡爲準。我們要再次說明，除非採取適當的補救辦法，否則由於組件的增多一定會使可靠度降低。在此種情況下只有增高組件可靠度或在系統中採用複聯裝置才可保持可靠度不致減低。

對於某項特別目標，最大的性能改進可能是引用已開發的新型材料。這與應用增加負載或複雜性作爲交換條件不同的地方，新材料可能具有更好性能及更高可靠度的本質。在科技進步歷史中有很多這樣的例子，如在機器及建築方面以金屬代替木材，對於飛機引擎由活塞式改爲噴射式，電器裝置中的真空管也以固態電子裝置替換，所有這些對於性質及可靠度都產生基本上的改進。

即使技術方面有極大的突破，可靠度仍是一個嚴重問題，特別是在一項新技術發展的早期。因此，工程師們必須要藉學習經驗以減低對新產品負載極限的不確定性，並瞭解惡劣環境所產生的影響，以及建立完美的組合、製造、與結構。

1.3 可靠度要求條件

前面已提到在技術發展的各階段，一定常會發生可靠度與性能互換的情形，同樣也會需要可靠度與成本間互換。關於互換量有多大以及互換的基本規則，主要是依工程方面的實際經驗，因爲技術在不同反應中變化很大。以下幾個例子將可說明此點。

第一個實例，我們可就美國印第安那每年 500 哩汽車大賽來說，如果以平均車速作爲測定的標準，參加競賽的跑車年年都有所改進，但是以汽車能跑完全程的機率來說，一般仍低於 50 %。對於此點我們無須驚訝，因爲在此種情形下性能就是一切，要想有機會獲得勝利

，就必須承擔很高的故障機率。

另一個相反極端例子為空運客機的設計，一個機械故障可能造成毀滅性的災難。在此種情況下，可靠度是超越所有設計的考慮。有關速度的降低、酬載的減少、以及油料消耗的經濟問題都可允許，以求取致命災難發生機率的低微。

我們再以一個中間情況的軍用飛機為例，此時可靠度與性能的交換條件可能相等。降低可靠度仍會增加致命災害的發生，不過假如飛機性能不夠優異，在戰鬥中數量方面的損失可能使任務失敗，同時也會造成生命的損失。

至於與這些生死有關相反的事例，很多產品的可靠度可由日常經濟觀點加以研究。例如一種機器的設計，其交換條件是花費較大的成本以求達成較高的可靠度，或是較低的可靠度因而形成修護費的增高以及產能的損失。即使如此，也還會產生一些敏感問題。對於若干消費性產品來說，較為可靠的產品可能要有較高的售價，但我們必須衡量顧主對於較低可靠產品發生故障時的憤怒以及在修理與換裝時支付較多花費的反應。

1.4 系統壽命週期與可靠度

以上檢討主要為可靠度與設計的關係，實際可靠度最重要的考慮是對於系統的全部壽命週期。首先我們必須就系統壽命週期加以檢討，廣義的說法，壽命週期可分為下列四期：

1. 定義及初步構想設計
2. 細部設計及發展。
3. 製造建築、或兩者兼備。
4. 操作與運用。

在上述每個時期的可靠度工作範圍，依系統的性質可能有很大的