

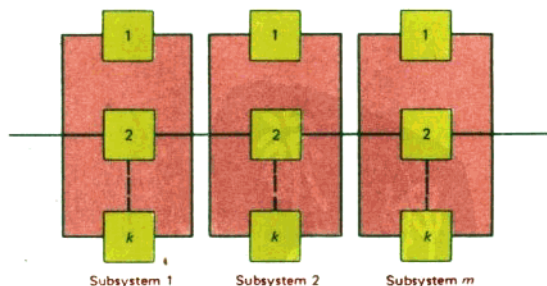
系統可靠度工程

-設計與操作-

Reliability Engineering in Systems Design and Operation

原著者：B.S.Dhillon

譯述者：趙淳霖



科技圖書股份有限公司

系統可靠度工程

-設計與操作-

Reliability Engineering in
Systems Design
and Operation

原著者：B.S.Dhillon

譯述者：趙淳霖

科技圖書股份有限公司

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第1123號

書名：系統可靠度工程
原著者：B. S. Dhillon
譯述者：趙津霖
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號四樓之一
電話：3118308・3118794
郵政劃撥帳號 0015697-3

七十六年九月初版

特價新台幣 160 元

譯 序

可靠度是一門相當新的科學。由於現代裝備系統的精密、複雜及自動化，使得這門科學發展迅速，不只在理論方面有高度的成就，在應用方面的擴展更是驚人。以往可靠度的對象為太空、航空及軍事裝備；目前不只裝備本身，使用人的可靠度即所謂人性工程也應運而生，而電腦軟體也要講究可靠度。其他系統方面，如核能電廠、運輸系統、衛生保健系統等，也都要借重可靠度工程師以改進效能、保證安全及降低成本。

系統可靠度不只是可靠度工程師的職責，為了裝備的集體設計，其他專業工程師如機械、電機、電子、土木等也必須對於可靠度工程有相當的知識，這樣他們與可靠度工程師合作時才會有良好的溝通。再者，一個機構的高階層經理對於裝備的採購，也須瞭解可靠度的重要性，否則只顧購入價格低廉，而裝備較高故障率在未來所造成的超額損失恐將無法避免。

這是一本著重實際的書，主要為觀念及應用。其在理論方面並未涉及深奧理論及高等數學，但在基本理論方面都有簡要說明，因此讀者不必具有高度數學水準或工程背景，同樣也可充分瞭解。本書內容相當廣泛，舉凡與可靠度相關問題，如維護工程、人性工程、系統安全工程、壽命週期成本等均有述及。另外，對於電力系統、衛生保健系統及電腦軟體可靠度也都有介紹。這樣使讀者對於可靠度的應用當可獲得更深刻的認識。

本書不只可作為工業工程科系的教科書，其他工程科系也可作為選修教材。至於一般工程師及高階層的經理人，如能陳列案頭作為參考書，對於裝備設計、採購及運用都將會提供較佳的決策。

由於時間倉促，且部分專門名詞並無標準譯名，故譯文不妥之處在所難免。尚祈先進專家及讀者不吝指教，以匡不逮。

趙 淳 霖

中華民國七十六年春

原 序

目前有關系統可靠度工程已經發展到劃分為不同專業的水準，例如可靠度的尋優、壽命週期成本及可靠度成長的模式。要想在系統設計與操作中以最低成本獲取最高可靠度，設計工程師及可靠度分析師對上述及有關可靠度其他方面的知識實屬非常重要。著者希望在本書中將常用與高級可靠度及相關問題的最新資料加以介紹。

例如與可靠度工程直接有關問題為修護及安全工程，這些方面的知識對於工程師在系統設計及操作時非常重要。但是因為這些問題的資料都散載於各種教科書或技術文件，使工程師取得各方面的資訊非常不便，這本書就是想以一書提供所有必需的資料。本書主要對象為對此問題並未具基本知識的實習工程師以及大學或研究所學生。書的內容是以觀念的結構為重點，而不在深奧的數學與作業的細節。書中大部分資料來源都已列入參考文獻以供讀者深入研究。在各章之後所列參考文獻總計超出 1400 項，將可作為讀者對有關問題進行更深入研究的參考。

第一章簡單檢討可靠度工程的歷史、可靠度的出版文獻、可靠度工程規畫的需要、系統工程、基本定義以及全書範圍。本章最後並列出軍事及其他重要的有關可靠度出版文獻。第二章則為數學及機率理論的複習，俾供瞭解以後各章的需要。

第三章為可靠度的基本觀念，第二及第三兩章對於不熟悉可靠度工程的讀者們將會有很大幫助。第四章包括補充變數法 (supplementary variables method)、干擾理論 (interference theory)、人性可靠度 (human reliability)、共因故障 (com-

mon-cause failures)、故障樹(fault trees)、軟體可靠度(software reliability)及更新理論(renewal theory)等項。

可靠度的尋優及可靠度成長模式分別列於第五與第六兩章，這兩項問題都是目前熱門科目。而且為獲得最佳可靠度決策，這兩科目在系統設計階段都非常重要。因此這兩章內容都有較深入的探討。第七章為檢討系統安全工程，此項問題與可靠度關係密切，特別是在系統設計階段。本章內容包括系統安全管理、系統安全分析技術以及有關安全的法律問題。

第八章檢討故障數據分析技術。第九章則為壽命週期成本(life cycle cost)的檢討，這也是目前的一項熱門問題。另外有關經濟分析技術，本章提出一些壽命週期成本及系統操作成本模式。第十章說明有關系統操作階段各項問題，如維護管理方法及裝備維護模式與修復度。第八至第十章內容對於系統設計及操作階段都很重要。其餘第十一及第十二兩章則為有關可靠度理論在醫療設備與電廠裝備方面的應用。因為近年來人們對於這兩方面非常重視，所以特別提出說明。

本書除供系統設計及操作工程師應用外，對於可靠度工程有關的學生、經理、安全工程師、維護工程師等亦頗為有用。本書不只可作較長時期的課程教本，亦可作為短期各項訓練的教材。例如系統可靠度概論(第一至第三章及第八章)，高級可靠度工程(第四至第六章及第七章)，可靠度尋優(第一至第三章及第五章)，可靠度成長模式(第一至第三章及第六章)，壽命週期成本(第一至第三章及第九章)，醫療系統可靠度(第一至第三章及第十一章)，電力系統可靠度(第一至第三章及第十二章)，系統安全(第一至第三章及第七章)以及修護工程(第一至第三章，及第八章和第十兩章)等。

Balbir S. Dhillon

狄 隆

系統可靠度工程 目 錄

譯 序

原 序

第一章 導 論

1.1	可靠度工程的歷史	1
1.2	可靠度方面的出版物	2
1.3	可靠度計畫的需要	3
1.4	系統工程	4
1.5	系統可靠度	4
1.6	可靠度工程的分枝及目前趨勢	4
1.7	有關可靠度名詞的定義	5
1.8	本書範圍	5
1.9	本書綱要	6
1.10	參考文獻	6

第二章 工程可靠度數學

2.1	簡 介	10
2.2	基本機率理論	10
2.3	機率分配	11
2.4	尋優數學	20
2.5	特別函數的積分式	21
2.6	拉普拉斯變換法	21
2.7	有用的定理與定義	24

2.8	本章綱要	25
2.9	參考文獻	25

第三章 工程可靠度的基本觀念

3.1	簡 介	27
3.2	浴盆型故障率曲線觀念	27
3.3	兩態裝置網路可靠度的計算	29
3.4	三態裝置網路可靠度的計算	36
3.5	可靠度的計算方法	38
3.6	本章綱要	55
3.7	參考文獻	55

第四章 高級可靠度評估技術

4.1	簡 介	60
4.2	補充變數法	60
4.3	干擾理論	65
4.4	人性可靠度	81
4.5	共因故障	84
4.6	故障樹	95
4.7	軟體可靠度預測	106
4.8	更新理論	111
4.9	本章綱要	113
4.10	參考文獻	113

第五章 可靠度尋優

5.1	簡 介	126
5.2	尋優技術	127
5.3	複裝網路的尋優	128

5.4	三態裝置複裝網路可靠度尋優	139
5.5	機件組件可靠度尋優	145
5.6	最佳維護政策	147
5.7	本章綱要	150
5.8	參考文獻	150

第六章 工程可靠度成長模式

6.1	簡 介	158
6.2	可靠度成長的管理	160
6.3	可靠度成長模式	162
6.4	可靠度成長模式參數的估計	172
6.5	軟體可靠度成長模式的建立	178
6.6	本章綱要	178
6.7	參考文獻	178

第七章 系統安全工程

7.1	簡 介	183
7.2	系統安全的功能	184
7.3	產品安全計畫	185
7.4	系統安全分析技術	188
7.5	安全的法律問題	203
7.6	本章綱要	204
7.7	參考文獻	205

第八章 故障數據分析

8.1	簡 介	211
8.2	故障數據庫	211
8.3	不可修組件故障數據分析技術	213

8.4	可修系統故障數據分析	235
8.5	本章綱要	235
8.6	參考文獻	236

第九章 壽命週期成本

9.1	簡介	241
9.2	經濟性分析	242
9.3	壽命週期成本模式	250
9.4	使用期間裝備成本模式	258
9.5	裝備發展成本模式	259
9.6	成本估計方法	260
9.7	成本模式的選擇	261
9.8	可靠度改進的保證制度	262
9.9	本章綱要	265
9.10	參考文獻	266

第十章 修護工程

10.1	簡介	274
10.2	修護工程所用的定義	275
10.3	修護管理方法	275
10.4	存量管制模式	282
10.5	修護計畫及管制技術	285
10.6	修護測度指數	291
10.7	修護工作數學模式	295
10.8	修復度	298
10.9	本章綱要	302
10.10	參考文獻	303

第十一章 醫療設備可靠度

11.1	簡 介	313
11.2	美國衛生保健資料	314
11.3	醫療設備	314
11.4	美國醫療設備法規	316
11.5	醫療設備可靠度改進程序與技術	317
11.6	可靠度模式	320
11.7	對於醫護人士及可靠度工程師的建議	324
11.8	太空裝備與醫療設備可靠度的比較	326
11.9	本章綱要	326
11.10	參考文獻	327

第十二章 電力裝備可靠度

12.1	簡 介	330
12.2	電力系統可靠度的定義與指數	330
12.3	電力裝備可靠度模式	332
12.4	輸電線路共因故障模式	351
12.5	壽命週期維護成本模式	353
12.6	本章綱要	356
12.7	參考文獻	356

第一章 導 論

1.1 可靠度工程的歷史

可靠度工程這門科學並不很新。它的歷史可追溯到第二次世界大戰期間，當時德國第一次引用可靠度觀念以改善 V-1 及 V-2 火箭的可靠度。

1945 到 1950 年代，美國陸、海、空軍都進行裝備修理與維護成本及電子裝備故障等項的研究。根據這些研究結果，美國國防部在 1950 年成立可靠度檢討委員會。其後於 1952 年改為永久性組織，稱為電子裝備可靠度顧問組 (Advisory Group on the Reliability of Electronic Equipment, AGREE)。

在 1950 年代初期由於美國國防部注意可靠度的結果，美國電機電子工程師學會 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 編輯的可靠度研究報告及美國可靠度與品質會議論文相繼出版。在 1957 年 AGREE 出版一份報告直接制定軍事電子裝備可靠度的規格。

1960 年代初期我們可看到很多有關可靠度的書籍；另外，一份國際性的期刊 “Microelectronics and Reliability” 也在此時間世。

到目前為止已有很多關於可靠度及修復度的文獻出版，其中重要書籍及有關出版物目錄經分別附列於第一及第三章之後。

現在很多工業、政府機構及其他單位都聘用一些專家如可靠度工程師、可靠度小組長及可靠度經理等。而可靠度範圍也擴展

爲很多的分枝，如軟體可靠度、機械可靠度、人性可靠度、電力系統可靠度、修復度工程以及壽命週期成本等。因爲可靠度的好處很多，所以它的重要性也日漸增高。

1.2 可靠度方面的出版物

目前世界各地每年都有很多專門或一部分致力於可靠度的期刊及會議記錄出版。著者無意在此一一列出，不過下列三種有關可靠度工程的期刊與會議論文特別重要：

- (1) IEEE Transactions on Reliability, 這是由美國電機電子工程師學會及美國品質學會 (American Society for Quality Control, ASQC) 聯合發行，每年出版五期。
- (2) Microelectronics and Reliability: An International Journal, 係由 Pergamon Press, Oxford, England 發行，每兩月出版一期。
- (3) Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, 這是由美國九個專業學會發行，其中包括美國電機電子工程師學會及美國機械工程師學會 (American Society of Mechanical Engineers)。該項會議每年在美國舉行一次。

期刊 Microelectronics and Reliability 正如它名稱表示，通常只有一部分爲有關可靠度問題，不過每期都會有一半以上的論文是檢討可靠度工程。上述三種研究性出版物對於全世界大部分可靠度專家們都非常熟悉。下列雜誌及會議論文也都時常刊載有關可靠度的論文：

- (1) Naval Research Logistics Quarterly.
- (2) Technometrics.
- (3) Proceedings of the Annual Technical Meeting of the Institute of Environmental Sciences, U.S.A.
- (4) AIIE (American Institute of Industrial Engineers) Transactions.
- (5) Proceedings of Annual Pittsburgh Conference on Modeling and Simulation.
- (6) Journal of the Operations Research Society of America.
- (7) Various conference proceedings of the American Society of Mechanical Engineers.
- (8) Journal of Applied Probability.
- (9) Journal of Applied Mechanics.
- (10) IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, published by IEEE.
- (11) Proceedings of the Reliability Engineering Conference for the Electric Power Industry.

前已述及著者無意將有關檢討可靠度問題的期刊及會議論文全部列出，不過主要出版物已彙列如上。再者，重要的美軍標準與手冊及其他與可靠度有關的文獻都已列入本章之後如參考文獻 1 至 54。

1.3 可靠度計畫的需要

爲了減少系統綜合費用，高可靠度是屬於必要。美國軍事方面研究結果，發現某些系統每年所需維護費竟高達採購成本的十

4 系統可靠度工程

倍。其他需要較高系統可靠度的因素為系統的繁複性、高購置成本、不方便、商譽的損失、國防安全的損失以及競爭性等。由於以上各項原因，在系統計畫、設計及操作方面可靠度的考慮都屬非常重要。由於在系統開發初期，可靠度與成本及性能參數可以互換，所以可靠度的計量分析在系統計畫、設計與操作方面也佔有很重要的地位。

1.4 系統工程

系統工程為一門科學，它是在設計主要系統時保證所用次系統或組件能有最佳的設計、組合及操作。系統工程的應用通常可分為四個階段：系統分析、系統設計、執行及操作。

系統分析包括項目為問題確定、專案的建立及系統的定義等。系統設計階段包括預估、模式的構成與模擬、可靠度分析及可靠度尋優等項。在執行階段主要為製造及有關文件的處理。最後操作階段注意開始操作狀況及經過情形的檢討等。

1.5 系統可靠度

系統可靠度可分為兩大類，即設計可靠度及操作可靠度。設計可靠度工作包括可靠度分析、可靠度評審、互換條件的研討以及可靠度試驗分析等。操作可靠度主要為故障分析、實際應用報告及修正等項。

1.6 可靠度工程的分枝及目前趨勢

現在可靠度工程的範圍很廣，而且可應用於各方面，如太空、運輸、發電廠及國家安全。再者，可靠度又開發出各項特種分

枝，如軟體可靠度、人性可靠度、機械可靠度、壽命週期成本及電力系統可靠度等。過去幾年間對於以上各項都有一些教科書出版，我們可以很清楚看出有關可靠度的發展非常顯著，目前軟體可靠度及電力系統可靠度是較其他可靠度方面更受一些研究人士的重視。

1.7 有關可靠度名詞的定義

在可靠度工程方面一些常用名詞的定義如下：

- (1) 可靠度：可靠度表示一件產品在規定條件及預定的一段時間內，能充分完成任務的機率。
- (2) 故障率 (hazard rate 或 instantaneous failure rate)：
故障率為在時間 t 時，故障組件數量除以倖存組件數量的變化率。
- (3) 主動複聯 (active redundancy)：主動複聯表示所有複聯的組件同時都在操作中。
- (4) 修復度 (maintainability)：修復度為故障件可予修理使恢復妥善操作狀態的機率。
- (5) 停機時間 (downtime)：停機時間為一件產品不能妥善操作情況的全部時間。

其他可靠度名詞的定義可參閱參考文獻 1、55 及 56。

1.8 本書範圍

現今很多工程師們都在設計大型、複雜及精密的系統，他們需要有關可靠度各種特定的知識。再者，操作工程師們必須使裝備系統在現場能保持最低維護成本及最高可用度。因此，對於這