

可靠性理論與實務

Reliability Principles And Practices

S. R. Calabro 原著

褚崑成 譯



中興經營管理叢書

可靠性理論與實務

Reliability Principles And Practices

S. R. Calabro 原著

褚 崑 成 譯

中興管理顧問公司
發 行

譯者簡介：褚 崑 成

國立臺灣工業技術學院工業管理系畢業
現任：某機構品質保證部門

版權所有
翻印必究

中華民國七十三年八月初版
中興經營管理叢書

可靠性理論與實務

高級精裝本實價新臺幣350元

S. R. Calabro原著
褚 崑 成 譯

發行者 中興管理顧問公司
臺北市民生東路六十六號 新力大樓五樓
電話：五六一六三五六・五六一六三五七
印製者 新格裝訂有限公司
台北市社子街三十三號
電話：八一〇〇八三・八一〇二八七

譯 者 序

產品的可靠性為品質特性之一，它的觀念主要在強調出廠前品質的問題，進而探討產品使用後，在特定的條件及時間下能發揮其機能的機率。二次世界大戰以後，由於工業的高度發展，技術不斷的更新，各種產品的結構日趨精密複雜，尤其近年來的自動化機器，更需要保持高度的可靠性，因此可靠性的問題隨著工業的發達而益見重要。我們如想徹底地推行品質管制，那麼就不能不談可靠性的問題了！

本書作者S. R. Calabro先生曾在International Telephone & Telegraph等公司擔任高級主管，實際從事可靠性與品質管制工作達十餘年之久。就經驗與學識而言，他是最有資格寫這方面書籍的人了，這也是譯者為何翻譯這本書的原因之一。

本書的內容非常地廣泛，而且相當地實用。它將告訴您有關可靠性的一些基本概念，以及實務上可靠性問題的解決方法。它也將介紹您一些簡單易用的可靠性公式及數學模式，並舉實例來說明此二者的應用情況。此外，本書還具備了下述四項特點：

- 一、應用 K^2 的新統計方法來簡化可靠性領域中「時間抽樣計畫」的計算。

二、利用“r”管制圖與次樣本“f”管制圖，來提供一種新的、有效的畫圖工具，以便在生產期間管制可靠性與維護性的活動。

三、作者自己發展出來一套數學模式，用它來介紹維護性與使用性的新概念。他並以故障率的觀點，提出決定備用零件 (Spare parts) 數量的方法，即 $r = \lambda t + Z \sqrt{\lambda t}$ 。

四、本書對可靠性的規格，以及可靠計畫的管理，均有詳細的說明。在解決可靠性疇範內的日常問題時，本書不失為一本明確且值得信賴的參考文獻。

本書係譯者利用公餘之暇翻譯的，譯者才疏學淺，匆忙中趕譯付梓，錯誤當在所難免，尚請先進、專家、學者不吝指教。

褚崑成謹識

73年3月於基隆

前 言

寫這本書的目的是想提出近代可靠性理論的基本概念，並且介紹它們在解決實務問題上的應用。爲了達成此一目標，我儘量在可能的範圍之內避免用那些抽象的統計與數學技巧，而在書本中舉很多範例來說明可靠性公式與數學模式的應用。然而，我必須強調：書上所使用的公式與數學模式，它們都是有數學理論根據的；並且可加以證明。

我也想儘量採用簡單的文體來寫這本書，使讀者只要具備少許的專業知識（指統計學與可靠性分析），就可以很容易地理解其內容。朝著這個信念，我會在書中不厭其煩地再三說明符號與名詞的意義，讓讀者閱讀起來容易，而且可以完全地了解。我也想提出一些較深入的課題來研討；據我所知，它們之中有些還沒有人做過有系統的陳述呢！

第1章是就可靠性方面做概括性的探討，並將它與品質管制互相比較。可靠性與品質管制之間存有很多混淆的觀念，我會將它們加以區分，並顯示出它們的互補性。

對機率理論與統計分配認識不深的讀者，可以把第2章至第6章看成一種基本教材。我不擬在這些章節裡做詳細地敘述；只是把後續章節用得上的地方，做概念性的解釋。因此，在這些章節裡所強調的是：解決可靠性問題的技術應用。

第7章與第8章主要是在說明獲得可靠性數據的方法；同時，陳述它們的分析與評估。第7章涵蓋一些典型的現場報告方法，而第8

章則在介紹如何利用 χ^2 分配 (Chisquare distribution) 來分析這些數據的方法。它也提供了可達成同樣結果的近似方法。

第 9 章對維護性方面做了明確的解說；同時，從任務與設備使用的角度，為使用性做了定義。此舉補充了人們一般所接受的使用性定義（從運作時間比率的角度）。除此之外，與可靠性、維護性有關的數學關係，也詳細地予以陳述，以便為達成特定的使用性而有所抉擇。維護性與可靠性之間的關係，可利用圖表來表示；這樣，能使計算更為容易。

第 9 章也提出了一種新概念：「維護時間限制」的原理，它已成為使用性模式不可或缺的一部分。在一部裝置被視為故障之前，維護時間限制允許故障準則從停頓時間的總容許數量的角度，予以再評估。

第 9 章也介紹了許多複連系統的數學模式，並將它們簡化成所謂 n -plex 方程式的一般式，此式在評估由 n 個複連元件所組成的複雜系統之可靠性，是很有用的。

第 10 章與第 11 章在討論可靠性抽樣與管制方法。由作者所發展出來的新統計方法 K^2 ，對任何生產者與消費者所期望的可靠性，其時間樣本大小之計算有莫大的幫助。允收數與拒收數，也可以利用 K^2 很容易地予以計算。此外，作者也介紹了 r 管制圖與次樣本 f 管制圖，它們都可用來做可靠性管制與評估的媒介。這些管制圖也能當做產品改進評估的媒介，並做為料件是否符合特定可靠性需求的決定參考。當把次樣本 f 管制圖當成允收媒介時，它能以最少的試驗時間與成本去做可靠性的評估。

第 12 章在於研討可靠性與使用性的預測方法，並且以範例來強調所使用的技術。

最後的兩章，也就是第 13 章與第 14 章，它們對身涉可靠性計畫

管理者，有密切的關係。這兩章提供了必要的基礎環境與資料，讓我們了解所需的元素，及建立一套可運用的可靠性組織與計畫。

一般而言，本書的目的乃在於提供必要的知識與未來所需的技能，以便在一個典型的組織裡，能計畫、創立及執行一種可靠性的功能。

作者誠心地希望統計、數學、工程及管理人員能對本書下述內容發生興趣且有所心得；如此，他們可用漸增的可靠性知識去執行他們的功能。

我在編寫本書時，受了很多人的幫忙（公私皆有）。本書的資料是我多年經驗之談，我非常感謝同事們、許多政府的代表以及私人機關的鼎力相助提供資料。特別值得一提的是我目前的兩位部屬 M. B. rov 與 V. Selman 先生，他們提供很多寶貴意見，而且幫忙校稿。

我也感謝許多我過去及現在的部屬（由於人數衆多，以致無法一一列名），他們幫我閱讀影印資料及提供意見。我也感謝許多秘書及打字員，他們要一邊面對繁重的例行職務，一邊又要幫我修飾原稿，並將它打字成書。

我感謝 R.G. Pfefferkorn 博士，他提供一些有關精神物理學 (Psychophysics) 在可靠性預測方法上的資料。

我也感謝 Ronald A. Fisher 教授，Frank Yates 博士及 Oliver & Boyd 有限公司，同意讓我轉載其所著 "Statistical tables for biological, agricultural and medical research" 中的 Table IV。

我也感謝我的許多朋友，他們在我完成此書的歷程中，一直地鼓勵著我。特別是 M. Dubilier 先生（國際電子公司的總裁），他不斷地以他的關心激勵著我。更要感謝的是體諒我的妻兒們，當我犧牲時間與家庭生活，全副精神投入本書時，他們從無怨言，且永遠地鼓勵著我。

S. R. Calabro

目 錄

前言	1
----------	---

第 1 章 可靠性概念的介紹

§ 1-1 可靠性的定義	1
§ 1-2 品質的定義	2
§ 1-3 可靠性的重要性	3
§ 1-4 達成可靠性的方法	4
§ 1-5 可靠性的量測	8
§ 1-6 滿意的可靠性所考慮的是什麼	9
§ 1-7 可靠性規格的一般條款	9
§ 1-8 影響可靠性的製造事務	10
§ 1-9 可靠性政策	13

第 2 章 集中趨勢與離勢的量測方法

§ 2-1 介紹	15
§ 2-2 集中趨勢	15
§ 2-3 算術平均數或平均數	15
§ 2-4 中位數	16
§ 2-5 幾何平均數	16
§ 2-6 離勢的量測方法	17
§ 2-7 標準差的簡化計算法	20
§ 2-8 平均數與標準差的分組計算法	21
§ 2-9 平均數與標準差的取零位計算法	22

§ 2-10 利用平均全距 $\bar{R}$ 計算標準差	25
-------------------------------	----

第 3 章 機率及其在串聯與並聯可靠性上的應用

§ 3-1 所需的基本概念	29
§ 3-2 機率原理概論	29
§ 3-3 事先(理論)機率	30
§ 3-4 經驗機率	30
§ 3-5 加法定理	31
§ 3-6 互補定理	32
§ 3-7 乘法定理	32
§ 3-8 排列	34
§ 3-9 組合	36
§ 3-10 100 小時可靠性的定義	38
§ 3-11 串聯可靠性——乘積法則	39
§ 3-12 乘積法則的變化	39
§ 3-13 零件數在串聯可靠性上的影響	41
§ 3-14 串聯可靠性定理	42
§ 3-15 並聯可靠性	42
§ 3-16 並聯可靠性定理	43
§ 3-17 排列與組合在可靠性計算上的應用	44
§ 3-18 串聯——並聯可靠性	46
§ 3-19 串聯與並聯可靠性的比較	47
§ 3-20 複連的考慮因素	48

第 4 章 常態分配

§ 4-1 介紹	51
§ 4-2 直方圖與常態曲線的形狀	52
§ 4-3 常態曲線的特性	56

§ 4-4	理論常態曲線的作圖·····	62
-------	----------------	----

第5章 二項分配

§ 5-1	二項分配的性質·····	67
§ 5-2	二項展開式·····	67
§ 5-3	決定二項展開式項次係數的其他方法·····	72

第6章 卜氏分配與指數故障定律

§ 6-1	介紹·····	75
§ 6-2	卜氏分配的形式·····	75
§ 6-3	卜氏機率曲線·····	78
§ 6-4	卜氏分配在可靠性問題上的應用·····	81
§ 6-5	故障率與故障比率之間的差別·····	81
§ 6-6	指數故障定律·····	85
§ 6-7	故障間平均時間 m ·····	87
§ 6-8	可靠性曲線的計算·····	90
§ 6-9	理論與實際可靠性曲線的比較·····	94
§ 6-10	組合的故障率·····	95
§ 6-11	組合的壽命·····	96

第7章 可靠性數據

§ 7-1	可靠性數據的用途·····	99
§ 7-2	某些具有代表性的數據來源·····	100
§ 7-3	固有可靠性的數據·····	107
§ 7-4	故障的性質·····	108
§ 7-5	使用可靠性的數據·····	109
§ 7-6	工廠的數據·····	110
§ 7-7	商業上的數據·····	110

§ 7-8	收集可靠性數據（現場數據）的方法	111
§ 7-9	紀錄可靠性數據的方法	112
§ 7-10	現場報告所要的特性	114
§ 7-11	可靠性數據的效能與使用	114
§ 7-12	在當今現場報告體制下數據的不足問題	115

第 8 章 可靠性數據分析

§ 8-1	可靠性數據的用途	123
§ 8-2	平均壽命	124
§ 8-3	χ^2 分配	125
§ 8-4	利用 χ^2 建立變異數的信賴界限	130
§ 8-5	χ^2 與卜氏分配的關係	132
§ 8-6	平均數估計值的雙側信賴界限	135
§ 8-7	決定平均數估計值信賴界限的近似法	138
§ 8-8	自由度大於 30 時， χ^2 的求法	140
§ 8-9	自由度、 χ^2 值與顯著水準的近似求法	141

第 9 章 維護性與使用性

§ 9-1	維護性的定義	145
§ 9-2	維護性的性質與重要性	146
§ 9-3	影響維護性的因素	147
§ 9-4	獲得最適維護性的方法	148
§ 9-5	維護性的方程式	152
§ 9-6	維護性的增量 M_{Δ}	155
§ 9-7	設備使用性與任務使用性	156
§ 9-8	預定的維護	163
§ 9-9	把使用性當成 b 與 d 的一個函數	165
§ 9-10	時間使用性（作業時間比率）	169

§ 9-11 雙聯式系統的時間使用性	172
§ 9-12 組合	174
§ 9-13 把複連當成一種維護性的技術	176
§ 9-14 各種型式的複連	181
§ 9-15 備用件需求的決定	184

第10章 抽樣的方法

§ 10-1 介紹	189
§ 10-2 允收抽樣的原理	191
§ 10-3 操作特性曲線	192
§ 10-4 生產者與消費者冒險率	195
§ 10-5 平均可靠性水準 $\bar{r}$	196
§ 10-6 抽樣保護的基本型式	198
§ 10-7 抽樣的方法	200
§ 10-8 單次抽樣 AQL 計畫的設計方法	203
§ 10-9 AQL 抽樣表	206
§ 10-10 AQL 可靠性抽樣計畫	209
§ 10-11 樣本大小 T 的求法	216
§ 10-12 表 10-2 與求樣本大小的方程式之比較	220

第11章 可靠性抽樣與管制圖——時間樣本

§ 11-1 抽樣與時間樣本之間的關係	225
§ 11-2 基本的需求	226
§ 11-3 樣本大小與允收、拒收數的決定	229
§ 11-4 時間樣本管制圖的型式	233
§ 11-5 λ 管制圖	234
§ 11-6 次樣本 f 管制圖	240
§ 11-7 逐次 f 管制圖	250

第12章 可靠性與使用性的預測方法

§ 12-1 可靠性與使用性的研討.....	263
§ 12-2 串聯的案例.....	269
§ 12-3 並聯的案例——複連.....	272
§ 12-4 使用性與維護性的預測.....	273
§ 12-5 功能圖.....	278

第13章 可靠性規格

§ 13-1 概論.....	285
§ 13-2 現行的可靠性規格之典型條款.....	295
§ 13-3 可靠性需求.....	300
§ 13-4 使用性需求.....	301

第14章 可靠性計畫的管理

§ 14-1 產品保證.....	305
§ 14-2 產品保證部門的主要職責.....	307
§ 14-3 產品保證的作業範圍.....	322
§ 14-4 與政府品質保證代表的聯絡協調.....	324
§ 14-5 典型的產品保證組織結構.....	326

附錄 1 特殊的技術.....	335
-----------------	-----

附錄 2 附表.....	349
--------------	-----

第 1 章 可靠性概念的介紹

§ 1-1 可靠性的定義

RETMA (Radio Electronics & Television Manufacturers' Association) 對可靠性 (Reliability) 所下的定義是：可靠性為某裝置在規定的使用條件下，能於規定的期間裡，毫無故障地發揮其特定功能的機率。此項定義目前為大部分的可靠性權威者所接受；因此，我們考慮援用它。

從此項定義可知：可靠性所強調的有四項因素，即機率、特定功能、時間與使用條件。這四項因素都是非常重要，因為它們每一項都扮演著重要的角色。我們現在就依照順序來討論它們吧！

機率 (Probability) —— 可靠性定義的第一項因素，它是一種數量名詞，因為它可用分數或百分率來表示；此意味著我們做了一定次數的試驗，而期望某一事件發生的次數。因此，我們說某一裝置使用了 50 小時後的不故障機率 (Probability of survival) P_s 為 0.65 或 65%，這就是表示該裝置使用 50 小時後，我們做 100 次的試驗，其中有 65 次該裝置仍可運作。

特定功能 (Adequate performance) —— 可靠性定義的第二項因素，它指出：必須建立判定準則 (Criteria)，以便明確地指出、敘述或定義「什麼是令人滿意的效果」。譬如說，在一部八汽缸的汽車引擎上有一個火星塞發生毛病；雖然發動機有雜音，但它仍然可以運作。

就這個例子來看，如果汽車能在指定的時間內到達目的地，則它的功能還是被認為妥當的。然而，假使引擎完全弄壞了或是幾乎沒有一點作用時，毫無疑問地，在這種情況之下，它的功能將被認為是不妥當的。

時間(Time)——可靠性定義的第三項因素，它是最重要的因素，因為它代表一種期間的標準；在此期間內，我們可期望某種程度的功能。它是可靠性概念的基石，因為如果不具備「在一已知時間裏，裝置起作用或不故障之機率」的知識，則無法於一預定的期間內，評估完成任務或工作的機率。

使用條件(Operating conditions)——可靠性定義的第四項因素，在它的限制之下，我們期望某一裝置能起作用。典型的使用條件如：溫度、溼度、衝擊與震動等因素。由經驗顯示，每一個使用條件在功能上都有一定的影響。因此，把它們列為可靠性規格的一部分是有其必要的；因為如果不這麼做，則可靠性的定義也就失去它的意義了！

§ 1-2 品質的定義

品質的慣用定義是：某一裝置的品質是指對適用規格與工藝標準的符合程度。

通常品質規格不像可靠性規格那麼關心它的時間因素。大多數的人都照他們個別的工業情況，來訂定工藝標準，或是依其所需來指定試驗，以證實某一裝置在某些限制下能發揮功能，但卻沒有參考時間因素。

譬如說，在電子工業裡已發展出很多的規格來訂定工藝標準，並且以它們在品質上的相對影響來區分缺點。這就是一般所謂的缺點分類(Classification of defects)。最普通的分類是：嚴重、主要、與次要缺點。這種分類應用在各種不同的疇範，諸如：熔接、佈線(Wiring)

、製作、以及表面加工等等工作。例如在熔接的疇範裏，無法熔接或冷熔接通常被視為主要缺點，而熔接不足可能被視為次要缺點。因此，我們了解到品質是一種相對的程度，因為它是在已建立的標準之基礎上來加以評估的，以視其是否適合某一特殊型式的設備。

另有其他型式的品質規格，它們需要在環境或周圍的條件下加以試驗，以決定該裝置是否按照規定正常地運作。依據主要與次要的缺點分類，這些規格可能被組合起來。

經驗告訴我們：好的品質是高可靠性的主要因素，因為拙劣的工藝可能縮短裝置的壽命而影響到它的可靠性。爲了這個緣故，在這一章裡我們將概略地描述一些影響製造產品品質的基本因素。

§ 1-3 可靠性的重要性

在科技昌盛的今日，軍事上與工業上所使用的複雜裝置是絕對需要很高的可靠度 (Degree of reliability)。當最需要的時候，裝置若無法適當地運作，這可能是拿錢財、人民的生命與國家的安全做賭注所冒的險。

古代的時候，武器非常的簡單。騎兵所用的軍刀主要是由一片純鋼製成；即使這把軍刀在戰爭中斷裂了，那也只影響該戰士本身的安危。然而，時至今日，如果一顆飛彈在緊要關頭無法發射，則這顆未發的飛彈可能影響整個戰局，尤其是所牽涉的戰略目標。此外，今日的武器不像往昔的軍刀，它係由成千上萬的小零件所組成，每一小零件交織成複雜的武器系統。大體而言，這些零件的任何一個發生故障時，都可能影響到武器的操作。因此，如果某一單元是很複雜的話，則它一定要非常地可靠；它所組成的零件必須具有極高的可靠性。通常，單憑工藝水準是很難製造出符合可靠性標準之零組件的；所以，我們必須利用其他的技術。我們將在 1-4 節中，討論這些方法。