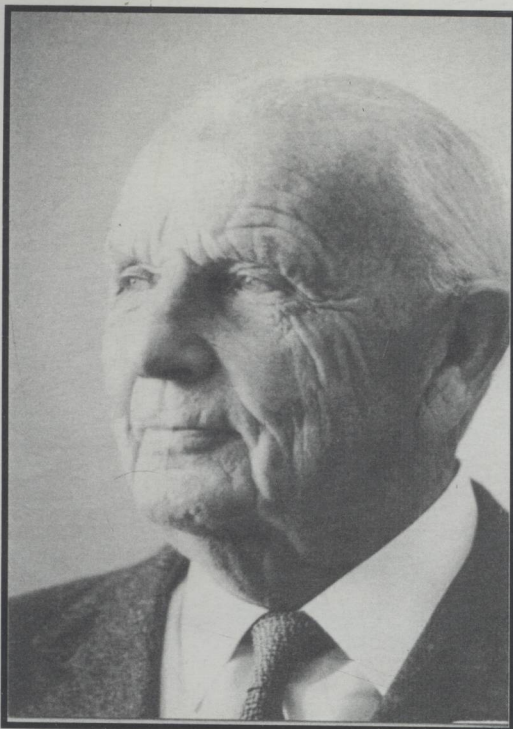


新韋伯分析手冊



瓦拉第·韋伯 1887 - 1979

可靠度和對壽命預測、安全、存活、
風險、成本和保固理賠的統計分析

第四版

作者和出版者：羅伯·亞博納希博士
中文版授權翻譯者和出版者：劉啓沼博士

鼎茂圖書出版股份有限公司總經銷
Ting-mao Book & Publishing CO., Ltd.

劃撥帳號：18242879 台北市中正區開封街一段32號11樓

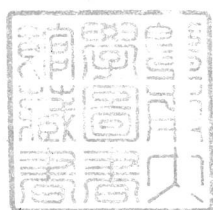
TEL: (02) 2381-4314 FAX: (02) 2382-5963

鼎茂網路書店：www.tingmao.com.tw



新韋伯分析手冊

可靠度和對壽命預測、安全、存活、
風險、成本和保固理賠的統計分析



第四版

作者和出版者：羅伯·亞博納希博士
中文版授權翻譯者和出版者：劉啓沼博士

新韋伯分析手冊

New Weibull Handbook

原出版者	羅伯・亞博納西
原版著作	羅伯・亞博納西
翻 譯	劉啓沼
出 版 者	劉啓沼
地 址	114 台北市內湖區環山路一段 56 號
電 話	(02)26585801#5252
傳 真	(02)29357313
郵撥帳戶	劉啓沼
郵撥帳號	19574777
印 刷 者	全華科技圖書股份有限公司
出版一刷	2007 年 3 月
定 價	新台幣 2000 元
ISBN	978-957-41-4365-8

有著作權・侵害必究

感謝：

本書獻給我的太太莎莉，謝謝她的鼓勵和耐心。再來，獻給曾經大力協助過我的朋友和同事。最後，獻給讀者，套用韋伯教授的話，希望它對你「有些用處」。

最後我們有幾句特別的留言送給參加韋伯研習的學員們，因為本手冊是專為你們所撰寫的。

給韋伯分析研習的學員：

如果你運氣夠好，在研習之前已經拿到或借到本手冊的話，事前的手冊研讀對你的學習非常有幫助。請閱讀第一至八章和第十章。第一天，我們將涵蓋一至四章的基本標準方法。第二天研讀第五至七章(第七章較不重要)。第三天讀第八和十章。(第三天最重要的教材是杜納-AMSAA模式和卡布蘭-美爾勒模式)。第九章個案研究你應該瀏覽。我不要求你做書本上的習題。我們在課堂上會做一些。請攜帶一支乾淨的塑膠尺、一個計算機和你在工作上所遭遇到的一個問題。數據應該單獨成一欄，正值表示失效，負值表示中止。你可以攜帶ASCII格式的數據或是試算表(Excel)或是WinSMITH軟體的韋伯檔案。檔案可以存在磁片或存在你的筆記型電腦裡。

韋伯分析研習作業：

第一天 第一至四章

1. 手冊習題：2-1, 2-2, 2-3, 3-2...(同你旁邊的學員一起做最後一題)
2. 疲勞電纜線韋伯實驗。我們明天將分析這些數據。
3. 閱讀手冊至第七章。

第二天 第五、六...和七章...也許？

1. 在電腦上「用超級史密斯軟體做歡樂時光」練習。想辦法完成第 1 至 14 題，但是如果你無法完成也不要緊，因為明天會有更多的歡樂時光讓你練習。
2. 閱讀手冊第八至十章。杜納 - AMSAA 模式和卡布蘭-美爾勒模式是今晚最重要的教材。有興趣的話快速瀏覽第九章。你的博士(Ph.D.)口試就根據第十章。

第三天 第七、八和十章

1. 博士(Ph.D.)口試。
2. 完成「歡樂時光」練習。你可以自選習題。我建議第 1-14 題、第 2 題全部、第 15-18、21、24 和(26 題...如果你有從事保固理賠的話)。你自己的數據和問題優先處理。

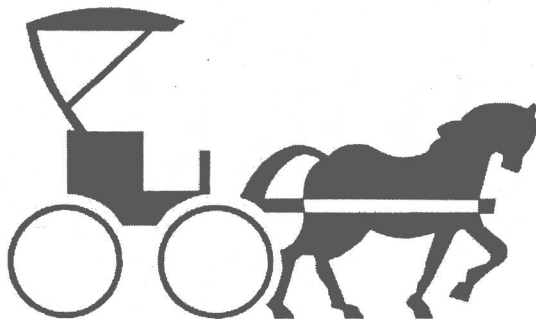
給台灣的讀者：

我很高興劉啓沼博士已經完成新韋伯分析手冊的中文翻譯。希望它能夠讓台灣產品的可靠度獲得改善，也希望你會發現本書有用。

一包柏博士 2007/1/23

「現在來造馬車，讓我來告訴你，
總是在某些地方能找出其弱點
如輪軸、輪胎、輪圈、如彈簧或是車轆
如儀表版或橫桿或地板或門檻
如螺絲、螺釘、貫穿扣環-靜靜地潛伏著
你必須且將會找出弱點
在上面或下面或裡面或外面
那就是原因，無庸置疑
馬車故障但未曾磨損。」

奧立佛·溫戴爾·荷馬…「輕便馬車」



序

背景說明 美國空軍韋伯分析手冊出版至今，二十餘年匆匆已過。過去這些年來，受到美國空軍及普惠公司的鼓勵，作者一直採用美國空軍手冊作為教材內容教授韋伯分析。1987年，作者提早退休以便全心全力研究韋伯分析和推廣其教學。內心至感愉悅和有趣。最高興的是莫過於與各產業傑出的工程師會晤，對韋伯方法激盪出新的或不同的用途。受到學員的激勵使得研究和方法的開發上不斷地推陳出新。這些在在都顯示出重寫和更新美國空軍手冊勢在必行，*新韋伯手冊*於焉誕生。這是第四版。如同以往，它涵蓋最新的方法、技巧和應用，均是由作者、威仕·福登(Wes Fulton)、保羅·貝齡爵(Paul Barringer)、包柏·洛克(Bob Rock)、韋恩·納爾遜(Wayne Nelson)、卡爾·塔倫(Carl Tarum)、瓦山(M. A. Vasan)、吉歐佛瑞·柯爾(Geoffrey Cole)、大衛·納維爾(David Navell)等和其他許多人合力完成。

*新韋伯手冊*已成為美國國內和國際韋伯分析的標準。全世界每天都有人在應用。發行量數以萬計。使用者包括軍方、汽車業、醫藥業、電子業、材料和成份研究、航空業、電廠、核能電廠、牙醫研究、廣告業、軸承、壓縮機、V型皮帶(v-belts)、鏈驅動(chain drives)等等。許多機構採用本書和實施其方法的軟體作為標準配備，客戶包括：聯邦航空管理局(the Federal Aviation Administration)，哈利·大衛森(Harley Davidson)、摩托羅拉、TVA、漢威聯合(Honeywell)、BICC General、GKN Automotive、杜邦、優質汽車(Meritor Automotive)、Teleflex、Guidant Cardiac Pacemaker (CPI)、戴姆勒-克萊斯勒、奇異、勞斯萊斯、蓋斯橡膠(Gates Rubber)，the US Naval Air Arm (NAVAIR)、在SAALC和WPAFB的美國空軍和道化學公司(Dow Chemical)等等。作者和汽車工程學會(Society of Automotive Engineering, SAE)也免費提供許多手冊給歐洲、北美和澳洲的大學。作者在此將提供的對象擴大到全世界的大學圖書館。威仕·福登在我們的網站上提供超級史密斯(SuperSMITH)軟體的免費試用版可供下載。

超級史密斯軟體是最重大的技術突破。威仕·福登開發出親和、好用的軟體，幾乎是無所不能。*新韋伯手冊*提供了解超級史密斯軟體的相關資訊，電腦軟體使得運用起來更為得心應手。也讓教授韋伯分析更為容易、有效率並且生動有趣。在韋伯研習會內，許多的應用和案例研究就是如此的使用，而不再受限於繁複的手工計算和展點。由於本書是專為韋伯研習所撰寫的手冊，其中包含許多有關軟體的功能在內。所提供的參考資料可能會顯得有些突兀，但我們在研習時所依賴的軟體卻需要這些參考資料。如果學生想要使用*新韋伯手冊*的話，他幾乎只要用超級史密斯軟體就不必再靠人工手算和人工展點。新的「與超級史密斯軟體共度歡樂時光」("Playtime with SuperSMITH")電腦家教強化了手冊並且提供許多的案例研究範例，一步步說明所有的方法。此外，讀者也可用本書自行撰寫軟體。結果很容易用標竿案例研究來確認是否正確，此標竿案例在超級史密斯軟體的試用版和完整版中均可找到。

第四版包含許多新方法和範例。韋恩·納爾遜提供最新的技術，圖解修復分析，詳見 M 附錄。PACCAR 的包柏·洛克發展出一套極為實用的壽命數據分析邏輯圖，引導你一步步的找到最佳方法來分析你的特殊數據。第十章可以找到此圖。第三章增列偵測數據中偏離異常值的新章節。幸好有保羅·貝齡爵的研究，我們現在擁有 C-A 模式的密合度檢定，並且改變原來的 C-A 模式最佳實務典範，從迴歸法改為新的國際電工協會(IEC)標準。保羅同時提供他的最新應用，用韋伯分析進行生產製程控制。極值統計量放在第八章。威仕·福登對概度比檢定和概度等高線檢定的小樣本補償與作者的最大概度推估值降低偏差調整(MLE-RBA)已完成結合。這是第一次允許概度分析用在非常小的樣本而得到非常精確的結果。預測失效的區間和保固預報已獲改善。*新韋伯手冊*在每次面臨不同方法的抉擇時，會獨一無二的推薦**最佳實務典範**。例如儘管 MLE 能消除小樣本的偏差，但是中位數位階排序，因為簡單和能提供良好的數據展點，故仍然推薦為工程的標準。然而有例外情況，最大概度推估值比較好時也會指出來。樞紐信賴區間，由戴姆勒·克萊斯勒的狄克·盧迪(Dick Rudy)所推薦，目前對於小樣本而言，是最佳實務典範。保固理賠預報包括季節使用率及系統超出保固期的調整。若擁有完整的保固數據，則應該考慮韋恩·納爾遜的圖解修復分析法，詳如 M 附錄。生產製程可靠度、失效預報、C-A 模式和最適零件汰換都提到成本分析。用在早先版本的某些方法現在已經過時，所以刪除。為使本書可讀性更高，所有艱深繁重的數學式都移到附錄中。每節標題上的星號表示進階主題。初學讀者可以跳過這些章節。因為要做為韋伯分析研習的手冊，所以排版上預留許多空間供做筆記和計算之用。本書提供許多案例研究，用來說明所採用的方法。

新技術已經發展出(1)允許總不確定性區間推估值和(2)針對最敏感的密合度檢定和分配分析，求出 r 平方的「 p 」值。瓦拉第·韋伯(Waloddi Weibull)生平包括在附錄中。另外，保羅·貝齡爵從我的圖書館中擷取出最重要的參考文獻全文和文章，放在他的網站上以供人們下載，網址如后：<http://www.barringer1.com>。本書以\$符號標示出來。

感謝：本書得以順利完成，要感謝許多朋友、學員、專家和客戶的協助。對我而言，所有的這些支持都銘感五內。每一個人都幫忙！謝謝你們所有的人。在此僅能列出部分，聊表心意：

- 首先，我的同事威仕·福登，感謝不只是他開發的親和軟體同時感謝他所研發的新韋伯方法。
- 第二，我的同事保羅·貝齡爵，感謝他的協助、建議、試讀、研究和貢獻。
- 第四版的第二刷之所以完成改寫版本要萬分感謝可靠度分析中心的編輯潘·金絲朵(Pam Kinstle)。我們也要感謝潘蜜拉(Pamela)重大的改善。
- 許多人提供本書部份章節如：PACCAR 的包柏·洛克；底特律愛迪生公司的大衛·史密斯(David B. Smith)；南太平洋公司(現在服務於 US 郵政局)的包柏·史坎農(Bob Scanlon)；富豪·富萊格馬達公司(Volvo Flygmotor)的史坦(Sten-Åke Irell)；FPL 的瑪莉·史坦頓(Marie Stanton)；顧問大衛·衛柏(David Weber)；德爾非公司(Delphia)的卡爾·塔倫；聯合太平洋鐵路(Union Pacific)的漢斯·愛萬德(Hans Iwand)；西北大學牙醫梅彌斯和勞田希拉格醫生(Drs. Memis and Lautenschlager)；克萊斯勒的理查·盧迪(Richard Rudy)；海鑽公司(Hydril)的肯尼士·楊(Kenneth Young)；FPL 的吉姆·金納(Jim Keener)和梅爾·湯姆斯(Mel Thomas)；TVA 的比爾·普利查德(Bill Pritchard)；波格華納(Borg Warner)的夏宜克·柯哈卡(Shashank Kolhatkar)；佛州電力公司的查理·威廉斯(Charlie Williams)；勞斯萊斯的吉歐佛瑞·柯爾和大衛·納維爾；道化學公司的大衛·威廉生(David Williamson)；優質汽車(Meritor Automotive)的瓦山和漢威聯合噴射引擎分部的大衛·郎劍客(David Langanke)。
- 有些人扮演試讀者提供鼓勵如：克利夫蘭州立大學史帝芬·杜非博士(Dr. Stephen F. Duffy)；托齡頓軸承公司(Torrington Bearing)的查理·希卡(Charles T. Sica)；戴姆勒-克萊斯勒的理查·魯迪；顧問查理·梅德林(Charles H. Medlin)；奇異的吉姆(Jim Dockendorff)和大衛·桑德斯(David Saunders)；普蓋特·桑德電力和照明公司(Puget Sound Power & Light)的卡謝·布萊斯(Casey Brace)；克萊斯勒的瑪莉·羅西(Mary Rowsee)；本田的羅馬·哈德曼(Romma Hartman)；3COM 的喬(Joe Dzekevich)和我的鄰居吉姆·哈林伍爾斯(Jim Hollingsworth)。SAE 學會專業開發員工的支持鼓勵。萊特·培特生(Wright Patterson)空軍基地從韋伯教授以來都一路支持韋伯分析的開發；WPAFB 的吉姆·得(Jim Day)和包柏·韓德生對作者多年的鼓勵在此一併致謝。
- 本版承蒙亞蘭·溫特巴頓博士(Dr. Alan Winterbottom)在詳細試讀本書後，對本書提出諸多寶貴的改善意見，此卓越又有建設性的書評刊登在英國王家統計學會(Royal Statistical Society)A 期刊(1997)，160 頁，第 2 部分。作者致上謝意。
- 特別要感謝世界著名的統計學家韋恩·納爾遜博士、爵爾德·勞萊斯博士(Dr. Jerald Lawless)和賴瑞·克羅博士(Dr. Larry Crow)，由於他們情義相挺，受邀擔任最近三場 SAE 韋伯使用者會議的大會專題演講的主講人。
- 大部分我所知道有關的統計學，都是很久以前從倫敦帝國學院我的指導教授喬治·伯納博士(Dr. George Bernard)處學到的。他曾經在概度函數的應用方面幫忙很多。(2002 年 8 月 6 日收到丹尼斯·法利教授(Professor Dennis Farlie)的電子郵件轉告伯納博士剛過世。)
- 我同時感謝內人莎莉的無比耐心和小女南西的校對。
- 以上所有的人無需為本書的錯誤背書，作者願意概括承擔所有的責任。

請來電或寫下對新韋伯手冊的問題、意見、建設性評論。我會很高興收到你的來函，聯絡方式如后：

Dr. Robert B. Abernethy

536 Oyster Road

North Palm Beach, Florida 33408-4328

傳真 & 答錄電話: 561-842-4082 電子郵件: weibull@worldnet.att.net

目錄

第一章 韋伯分析的回顧 1-1

- 1.1 目的 1-1
- 1.2 背景 1-1
- 1.3 實例 1-2
- 1.4 範圍 1-2
- 1.5 韋伯分析的優勢 1-3
- 1.6 數據、間斷數據 vs. 壽命數據 1-3
- 1.7 失效分配 1-4
- 1.8 失效預報和預估 1-5
- 1.9 工程上的實質改善測試 1-6
- 1.10 維修計畫 1-6
- 1.11 系統分析和數學模式 1-7
- 1.12 呈曲線的韋伯數據 1-7
- 1.13 呈轉角和狗腿的韋伯數據 1-8
- 1.14 韋貝氏分析 1-8
- 1.15 小樣本的韋伯分析 1-9
- 1.16 更新韋伯數據 1-9
- 1.17 不良 (棘手) 數據 1-9
- 1.18 建立韋伯線，選擇密合方法 1-9
- 1.19 相關方法和問題 1-9
- 1.20 摘要 1-10

第二章 數據展點和展點圖解讀 2-1

- 2.1 前言 2-1
- 2.2 韋伯數據 2-1
- 2.3 韋伯展點圖的尺度 2-2
- 2.4 伊塔和貝塔 2-2
- 2.5 韋伯分析 – 實例 2-4
- 2.6 中位數排序位階 2-5
- 2.7 韋伯展點圖 2-5
- 2.8 「B」壽命 2-6
- 2.9 中止測試件 2-7
- 2.10 柏納近似式 2-8
- 2.11 中止件令伊塔值增加 2-8
- 2.12 解讀韋伯展點圖 2-8
- 2.13 貝塔 < 1 暗示早夭 2-9
- 2.14 貝塔 = 1.0 暗示偶發失效 2-10
- 2.15 $1.0 < \text{貝塔} < 4.0$ 暗示初期磨耗 2-11
- 2.16 貝塔 > 4.0 暗示高齡磨耗或快速磨耗 2-11
- 2.17 未知的韋伯失效形態可能遭到「掩蓋」 2-12

2.18 韋伯機率紙和其製作方法	2-12
2.19 韋伯分析 – 標準方法	2-14
2.20 習題	2-14
第三章 棘手數據，「不良」的韋伯分析和不確定性	3-1
3.1 前言	3-1
3.2 小樣本的不確定性	3-1
3.2.1 密合度	3-3
3.3 中止件	3-5
3.4 可疑的異常值	3-5
3.5 彎曲的韋伯線和 t_0 修正值	3-6
3.6 彎曲的韋伯線和對數常態分配	3-10
3.7 數據不一致和多重失效形態	3-13
3.7.1 早期失效	3-14
3.7.2 序號接近	3-15
3.7.3 失效形態混合	3-15
3.8 陡峻的斜率隱藏問題	3-17
3.9 結論	3-18
3.10 習題	3-18
第四章 失效預報 = 風險分析	4-1
4.1 情境	4-1
4.2 定義	4-1
4.3 預報技巧	4-1
4.4 失效預報的計算	4-1
4.4.1 目前期望的失效件數	4-1
4.4.2 當失效件無法汰換的失效預報	4-3
4.4.3 當失效件為可替換、生產排程、季節性使用率、保固理賠、混合的失效形態等情況時，使用 WSW 軟體進行失效預報*	4-4
4.5 失效預報分析 – 摘要	4-4
4.5.1 第一個案例研究：軸承滾籠破裂	4-5
4.5.2 第二個案例研究：分流系統失效	4-8
4.6 不用模擬的系統失效預報*	4-13
4.6.1 第三個案例研究：航空器飛行途中引擎當機*	4-13
4.7 利用模擬的系統失效預報*	4-16
4.7.1 第四個案例研究：利用模擬的系統失效預報*	4-18
4.8 最適(最低成本)更換區間和塊狀更換區間*	4-20
4.9 習題	4-25
第五章 最大概度推估值和其他方法	5-1
5.1 前言	5-1
5.2 最大概度推估法(MLE)	5-1
5.3 中位數排序位階迴歸：X 迴歸 Y vs. Y 迴歸 X	5-3

5.4 特殊方法：展點位置	5-5
5.5 特殊方法：用降低偏差調整(RBA)的 MLE	5-6
5.6 特殊方法：勾塞特的學生 T 分配	5-9
5.7 道捨平移 – 未知中止時間	5-9
5.8 有關停機檢視的區間數據和粗略數據的特殊方法	5-11
5.8.0 停機檢視選項鍵	5-11
5.8.1 區間最大概度推估法 (MLE)	5-12
5.9 有關停機檢視之普羅壁數據的特殊方法	5-12
5.10 分配分析	5-14
5.11 習題	5-16
第六章 韋貝氏分析和韋貝氏實質改善測試	6-1
6.1 前言	6-1
6.2 韋貝氏法	6-2
6.3 無失效件的韋貝氏	6-2
6.4 含失效件的韋貝氏	6-3
6.5 未知失效時間	6-4
6.6 韋貝氏的擔憂和關切	6-4
6.7 韋貝氏案例研究	6-4
6.8 實質改善測試和可靠度測試	6-9
6.9 專為實質改善測試而設計的無失效件測試計畫	6-10
6.10 專為可靠度測試而設計的無失效件測試計畫	6-12
6.10.1 利用可靠度目標的其他形式以求出 η 值	6-12
6.10.2 測試計畫的設計	6-13
6.11 總測試時間	6-14
6.12 測試到失效為止的計畫 vs. 韋貝氏無失效件測試計畫	6-14
6.13 一個或零個失效件的測試計畫	6-17
6.14 應用韋伯或韋貝氏的快速失效測試	6-18
6.15 案例研究：成本 vs. 不確定性的取捨	6-19
6.16 常態和對數常態的測試	6-21
6.17 加速測試	6-21
6.17.1* 加速逐步- 應例測試數據分析	6-22
6.17.2* 加速測試：以不存在的服勤失效進行推估測試加速因子的方法	6-24
6.18 系統退化	6-25
6.19 韋伯圖書館和學到的教訓	6-27
6.20 給最終使用者的韋伯圖書館	6-27
6.21 習題	6-28
第七章 區間推估	7-1
7.1 信賴區間的觀念	7-1
7.2 其他的區間推估值	7-1
7.3 B 壽命與可靠度的信賴區間測試的數據	7-2
7.3.1 貝塔 – 二項式分配的界限	7-2
7.3.2 費雪矩陣的界限	7-3

7.3.3 概度比率的界限	7-4
7.3.4 蒙地卡羅界限	7-5
7.3.5 樞紐界限	7-6
7.3.6 可靠度的保證區間	7-7
7.3.7 標準常態分配的信賴界限	7-7
7.3.8 B 壽命與可靠度的信賴界限的摘要報告	7-7
7.4 β 和 η 的信賴區間	7-8
7.5 是否兩組韋伯數據不同亦或是來自於相同的分配	7-8
7.5.1 未重疊的雙邊信賴界限	7-9
7.5.2 概度比率檢定	7-10
7.5.3 概度等高線展點圖	7-11
7.6 總不確定性的區間推估值	7-13
7.6.1 總誤差	7-13
7.6.2 四種誤差	7-13
7.6.3 總不確定性	7-14
7.6.4 壽命數據的不確定性分析	7-14
7.6.5 敏感性分析	7-16
7.6.6 測試前的聲明	7-16
7.6.7 不確定性水準	7-16
7.6.8 不確定性報告	7-16
7.6.9 範例	7-17
7.7 習題 – 是非題？	7-21
第八章 相關數學模式	8-1
8.1 前言	8-1
8.2 二項式分配	8-1
8.3 卜氏分配	8-5
8.4 卜氏分配有時候會逼近二項氏分配	8-9
8.5 指數分配	8-11
8.6 K-M 存活模式推估值	8-12
8.7 克羅-AMSAA-杜納可靠度成長模式	8-17
8.7.1 前言	8-17
8.7.2 背景與歷史	8-18
8.7.3 C-A 模式的圖解法	8-18
8.7.4 MLE 求解以時間終止和以失效數終止的數據	8-20
8.7.5 MLE 求解群組或區間數據	8-22
8.7.6 C-A 模式的新研究	8-25
8.7.7 作者的評論	8-27
8.7.8 可修復的系統和保固	8-28
8.8 機率的設計	8-28
8.8.1 強度 – 負載和壽命 – 使用的交互作用	8-29
8.8.2 總壽命 = 裂紋壽命 + 裂紋-至-斷裂的壽命	8-30
8.9 製程可靠度	8-30

8.10 極值分配的統計量*	8-32
8.11 批次效應	8-34
8.12 習題	8-35

第九章 案例研究和新應用 9-1

9.1 前言	9-1
9.2 應力腐蝕失效預報	9-1
9.3 最適零組件的汰換 – 電壓調整器	9-3
9.4 火車頭電力系統零件大修壽命	9-7
9.5 渦輪圓盤的低週期疲勞龜裂	9-10
9.6 校正間隔的成本效益	9-12
9.7 機械工具與機器人的精度	9-13
9.8 剪力鏈防爆測試	9-15
9.9 佛羅里達電力公司渦輪發電機失效	9-18
9.10 田納西山谷局奔牛化石工廠 – 控制卡	9-19
9.11 是否聯結驅動環因天冷而失效？亦或是單純磨耗失效所造成？	9-21
9.11.1 緣起	9-21
9.11.2 背景和分析	9-22
9.11.3 結果	9-22
9.11.4 結論和建議	9-24
9.12 可修復系統可靠度成長評估	9-25
9.13 前防撞保險桿	9-26
9.14 轉換器封箱	9-27
9.15 齒科壓克力黏著劑疲勞	9-28
9.16 杜納-克羅-AMSAA 可靠度成長模式	9-29
9.17 鍋爐管路失效的韋伯分析	9-32
9.18 瓦斯渦輪油封失效 – 批次問題	9-35
9.19 以週為單位轉換成以英里為單位的保固理賠	9-37

第十章 總結摘要 10-1

10.1 結束才是開始	10-1
10.2 選擇哪種方法？哪種數據？	10-1
10.3 看展點圖，你看到什麼？	10-3
10.4 選擇哪一種分配最好？	10-4
10.5 實質測試和加速測試	10-6
10.6 信賴區間	10-6
10.7 上台提報與書面報告	10-6
10.8 邏輯圖 – 流程圖	10-6
10.9 曲終...人不散	10-6
10.10 最佳實務典範的流程圖	10-7

A 附錄：詞彙 A-1

B 附錄：排序位階迴歸法和韋伯分析相關方法 B-1

B.1 方法	B-1
B.2 範例與分解步驟	B-1
C 附錄：最大概度推估法*	C-1
C1. 前言	C-1
C.2 統計、機率與概度	C-1
C.3 概度函數	C-1
C.4 求解概度函數的極大值	C-2
C.5 最大概度範例	C-3
C.6 MLE 間隔數據	C-6
D 附錄：排序位階迴歸法 vs. 最大概度推估法 vs. MLE-RBA	D-1
D.1 背景	D-1
D.2 圖形展示	D-1
D.3 B 壽命推估值	D-1
D.4 風險分析	D-1
D.5 貝塔和伊塔	D-1
D.6 信賴區間	D-1
D.7 批次問題	D-1
D.8 收斂	D-1
D.9 單一失效	D-2
D.10 數學上的嚴謹性	D-2
D.11 簡報	D-2
D.12 摘要總結	D-2
E 附錄：韋貝氏分析	E-1
E.1 前言	E-1
E.2 無失效件的韋貝氏方程式	E-1
E.3 有失效件的韋貝氏	E-2
F 附錄：使用集合累積危害函數(ACH)的批次失效	F-1
F.1 韋伯展點圖的批次失效	F-1
F.2 用「目前風險」法的批次問題	F-2
F.3 ACH 法	F-3
F.4 案例研究: 航空-引擎 – (LP 渦輪吊帶失效)	F-4
F.5 結語	F-5
G 附錄：韋伯分配和對數常態分配的平均數及變異數	G-1
G.1 第 R 個動差	G-1
G.2 韋伯平均數	G-2
G.3 韋伯變異數	G-3
G.4 韋伯眾數	G-3
G.5 韋伯中位數	G-3
G.6 對數常態的平均數和標準差	G-3

G.7 對數常態的變異數 G-4

H 附錄：韋伯機率紙 H-1

I 附錄：中位數排序位階 I-1

J 附錄：母體和失效形態的混合 J-1

J.1 競爭風險 J-1

J.2 簡單混合 J-2

J.3 競爭風險混合 J-2

J.4 複合競爭風險混合 J-2

J.5 韋巴斯模式 J-3

J.6 考慮 J-3

J.7 曲線形狀 J-3

K 附錄：習題解答 K-1

L 附錄：C4 因子 L-1

M 附錄：圖解修復分析(GRAPHICAL REPAIR ANALYSIS) M-1

N 附錄：瓦拉第·韋伯生平 N-1

參考書目 R-1

索引 I-1

第一章：韋伯分析的回顧

1.1 目的

本手冊旨在提供使用者瞭解壽命數據的分析。對於失效分析特別強調韋伯分配及對數常態分配的分析。此一技術目前有許多新的應用諸如醫學、牙醫研究、儀器校正、成本降低、材料性質和量度分析等等。相關的量化研究模式如二項式分配、卜氏分配、卡布蘭-美爾勒模式(Kaplan-Meier)(以下簡稱 K-M 模式)、甘貝極值分配(Gumbel extreme value)和 Crow-AMSAA 模式(以下簡稱 C-A 模式)都包括在內。作者期望初學者在讀過本書後，就會使用韋伯分析。其次證明個人電腦的應用已取代過去需要辛苦的人工手算及手繪過程。

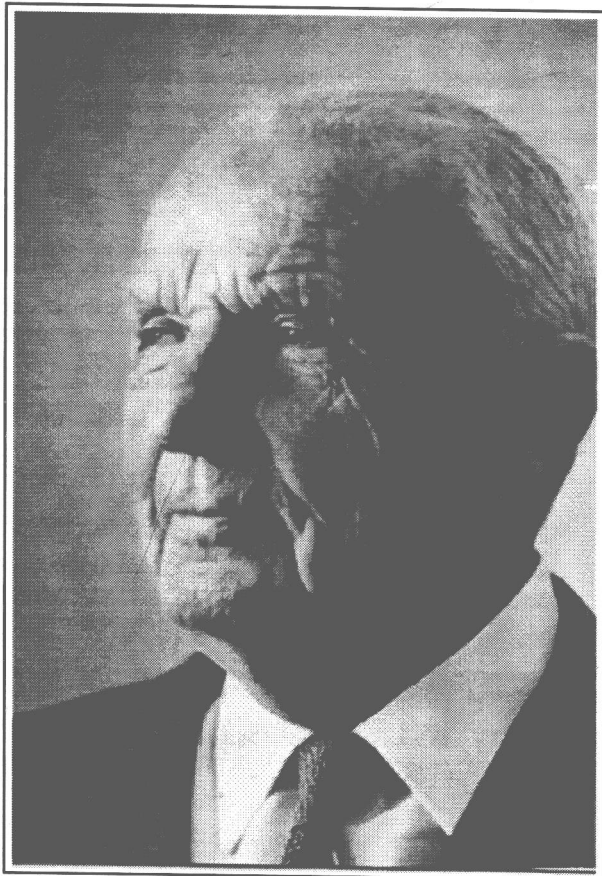
1.2 背景

瓦拉第·韋伯(Waloddi Weibull) 於 1937 年發明韋伯分配。1951 年此一歷史性的文獻發表於美國期刊上而廣為流傳。韋伯宣稱他的分配可被廣泛的運用。他舉了七個實例來說明：範圍從鋼鐵的強度到英國離島男性的身高。他宣稱此一函數：「有時會有不錯的表現」。他並未說它每一次都有效。但時間證明瓦拉第·韋伯所說的這些話都是正確的。有關他的生平如 N 附錄。

對於韋伯於 1951 年所發表的文章，最初的反應持負面看法的居多，從懷疑到公開反對的人大有人在，作者也是當時抱持懷疑態度者之一。韋伯又說：「數據會選擇分配且密合參數」，似乎是太過於神奇而不切實際。然而本行的前輩如里歐納德·詹森(Leonard Johnson)與杜林·夏寧(Dorian Shainin)卻應用此分配並在技巧上加以改良。美國空軍認知到韋伯分析的優點並投資研究直到 1975 年。今天在全世界密合壽命數據的領域中，韋伯分析可說是最先進的方法。

五〇年代中期杜林·夏寧引介作者到哈特福特研究中心(Hartford Graduate Center) (RPI)統計工程部門工作。他強力鼓勵作者和普瑞特&惠德尼航空器公司(Pratt & Whitney Aircraft)(以下簡稱普惠公司)的同事使用韋伯分析。他寫過第一本有關韋伯分析的小冊子，也曾經製作一部有關普惠公司從事韋伯分析的電影。

里歐納德·詹森服務於美國通用公司研究部門，並致力於韋伯圖解法的改良。韋伯利用平均數排序位階(mean ranks)做為展點位置(plotting positions)。詹森建議採用中位數排序位階(median ranks)可以獲致較佳的結果。他同時也是第一位使用貝塔-二項式分配信賴界線的前輩(詳見第七章)。甘貝(E.J. Gumbel)證明韋伯分配與第三型最小極值分配二者相同。這種關係正足以解釋為何韋伯分配適用於：當失效的機會很多時，我們只對第一次失效感興趣而已。此誠所謂「連環結中最弱的環結」之分配。有關杜林·夏寧和甘貝更多的資訊請參閱第 1-12 頁。



瓦拉第·韋伯 1887-1979
山姆·桑德斯(Sam C. Saunders)攝

作者與普惠公司的同仁發現韋伯分析適用於極小的樣本，即使樣本只有二、三個失效。此一特性對航太安全的問題及小樣本的研發測試相當重要。(就統計的目的而言，需要較大的樣本)。高深的技巧諸如：失效風險預測、變更設計實質測試的技巧、韋貝氏法及道捨平移法等，都是由作者及普惠公司同仁共同開發的。上述方法克服了數據分析時的許多缺點。這些先進的方法及其他相關數據都會在本書中一一說明。

1.3 實例

以下所舉工程實例皆可應用韋伯分析處理：

- 某專案工程師報告三個月內其專案組件因服勤而失效三個，計畫部經理問：「本案下一季(六個月內或一年內)會失效幾個？」失效造成的成本損失多少？降低風險和損失的最佳改正行動方案為何？
- 為訂購備份件及維修人力排班，以每種失效形態來算，明年每月會有多少機件回廠維修？
- 加州航空資源委員會要求散熱系統的任何零件，在保固期限內，若失效率超過 4%以上，則同梯的機隊應召回檢修，請問依據保固數據顯示，某種失效形態在那一天失效率會超過 4%？
- 改變某項新技術，必需測試多少機件、多少小時後，仍未固障，方可證明先前的失效原因已排除或是我們有 90%的信心相信先前的失效原因已顯著改善？
- 某電氣設施經常遭遇鍋爐管線失效而停電的苦惱。停機查檢失效困難重重，需用特殊的方法。鍋爐壽命的預估乃根據管線接頭的失效而定。
- 某工具機經常故障，超出供應商的保證。供應商的說辭是故障乃因作業員的濫用所造成的偶發事件，而你卻懷疑真正故障的原因是由於磨損提前發生。
- 對於同一種失效形態而言，零件未按計畫汰換的成本是按計畫汰換的二十倍。最適切的汰換時段為何？

1.4 範圍

韋伯分析包含：

- 數據展點與展點圖解
- 失效預報與失效預估
- 改善行動計畫的評估
- 設計變更的實質改善測試
- 維修計畫與成本效益的汰換策略
- 備用零件的預報
- 保固分析及其支援成本的預估
- 複雜設計系統的校正例如 CAD\CAM、有限元素分析等
- 建議管理階層如何回應處理服勤的問題

數據的問題及數據的缺陷包含：

- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| • 設限(Censored)或中止(suspended)數據 | • 沒有失效數據 |
| • 失效形態的混合 | • 早期數據遺失 |
| • 時間的原點非零 | • 停機檢視數據包括間隔數據和普羅壁數據 |
| • 失效件無法識別 | • 存活件不知其年齡 |
| • 極小的樣本(小到僅有一個樣本失效) | |

失效的類別包含：

- 開發、生產和服勤的失效
- 機械、電子、材料及人為疏失造成的失效
- 自然現象諸如：雷殛、外來物的破壞、人為疏失、啄木鳥在電線桿上啄洞等所造成的失效
- 品質管制、設計上的缺陷及材質不良所引起的失效

系統分析所用的數學模式包含：

- 獨立失效形態的外顯模式
- 相依失效形態的蒙地卡羅模擬
- 可靠度成長、可修復性和管理上的追蹤用 C-A 模式
- 指數、二項式及卜氏等模式
- K-M 存活模式
- 保固理賠模式
- 生產製程控制模式

為增加本書的可讀性，而將統計的推導挪到附錄。作者偏愛簡單的方法是因為這些方法既好用又易於瞭解。複雜的方法常需要嚴謹的數學理論，此乃學術界研究的領域，然而複雜的方法通常都難以溝通或解釋。工程師不太願意使用他們不瞭解的方法。但是，在這些複雜的方法中，如信賴區間就出現在文中，是因為學生也許會用到的關係。質化研究可靠度的方法並未於文內討論，其包含失效形態與效應分析(FMEA)及故障樹等。這些都很重要亦值得推薦，但本書的重點在量化研究方法，故未予著墨。意者請參閱[Raheja]及[O'Connor]等書，對質化研究可靠度的方法有詳細的說明。

1.5 韋伯分析的優勢

韋伯分析主要的優勢是即使利用非常少的樣本，仍能提供合理準確的失效分析與失效預報。對於初期測試階段失效的樣本儘管不多，問題還是有可能解決，不用將測試的時間延長或是增加樣本失效(破壞)的數量。小樣本的零組件測試也可能符合成本效益。舉例而言，驟死快速失效(Sudden Death)(以下簡稱快速失效)的韋伯測試就是在每組(例如每組有四個軸承)的第一個軸承發生失效時即結束測試。如果所有的軸承都需測試到失效為止，則成本與時間勢必大幅增加。

韋伯分析的另一大優勢是它提供簡單且有用的失效數據展點圖形。數據展點圖對工程師和經理是非常重要的。正如同韋伯在其 1951 年的文獻中指出，韋伯數據展點圖資訊特別豐富。典型的韋伯展點圖如第 1.1 圖。水平軸尺度用壽命或年齡的度量來表示。起/止的周數、里程數、操作時間、起降次數、任務次數等等都是年齡參數的範例。垂直軸表示累積的百分比失效機率。韋伯線所定義的兩個參數分別為斜率 β (音貝塔)與特定壽命(Characteristic Life) η (音伊塔)。斜率線 β 格外重要，因可提供失效之物理上的線索。斜率和失效類型的關係將於 1.7 節及第二章中詳加討論。特定壽命 η 是韋伯分析的典型失效時間，與平均失效時間有關。

1.6 數據、間斷數據 vs. 壽命數據

間斷數據或計數數據原先用來量度可靠度。測試分為成功與失敗。接收停機檢視數據就是計算好零件 vs. 不良零件。這些數據所用的模式為第八章描述的二項式分配和卜氏分配。其成果不太準確除非採用的樣本夠大。計量數據像失效的年齡數據就比較準確，因為在每一個數據點上有更多的資訊。壽命數據是計量數據的一種形式，用年齡或用到失效的時間來計量。壽命數據提供更好的準確度所以較小的樣本還是可以接受。