

出國報告（出國類別：研究）

至加拿大亞伯達大學機械工程學系可
靠度實驗室研習公差報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：程貴仁

派赴國家：加拿大

出國期間：99年9月2日~99年12月30日

報告日期：100年1月21日

摘要

此次研習主要為配合本所目前執行的「高容量用過燃料乾式貯存系統設計開發計畫」研究計畫，前往加拿大亞伯達省亞伯達大學機械工程學系可靠度實驗室 (Reliability Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering, University of Alberta)，研習可靠度設計相關知識與原理。可靠度目前已廣泛的應用在生產與製造的領域上，而可靠度設計則為一門嶄新的學科，將產品可靠度由製造管控提升至設計賦予，可應用於機械等設計相關工作，以增進產品之壽命與可用性。本次研習期間，自 99 年 9 月 2 日起，至 99 年 12 月 30 日止，共為期 120 天。主要研習方向為學習可靠度基本理論與相關設計應用，使產品壽命與可用性得以於設計階段評估，確保產品壽命於一定信心水平下滿足原始需求，以避免產品於生產與使用階段中發生失效而造成巨大損失。藉由了解可靠度相關基本原理及其運用方式，以了解可靠度設計與評估手冊中相關建議與公式之原理與背景，以增進運用該相關手冊之正確性，避免誤用情況之發生。透過可靠度設計，產品壽命得與於生產階段前確認，可確保產品能於一定使用期間內滿足相關規格要求。

關鍵字：可靠度設計

目 次

摘 要

(頁碼)

一、目 的	3
二、過 程	4
三、心 得	19
四、建 議 事 項	20
五、附 錄	21

一、 目的

此次實習主要為配合核研所目前執行的「高容量用過燃料乾式貯存系統設計開發計畫」研究計畫，前往加拿大亞伯達省亞伯達大學機械工程學系可靠度實驗室(Reliability Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering, University of Alberta)，研習可靠度設計相關知識與原理。加拿大亞伯達省亞伯達大學，為加拿大一所著名學府，該機械工程學系可靠度實驗室致力於整合及建立相關可靠度模型，以預測產品壽命與評估可能發生失效之機率，並配以失效診斷與檢測之相關技術，避免失效之發生，進而增進產品壽命與安全性。在可靠度設計部分，該實驗室利用機率與統計原理建立產品可靠度模型，並以實驗方式獲取產品基本組成元件相關壽命之機率分布，以作為設計階段預估產品壽命機率分布的依據。在失效診斷部分，該實驗室利用加速規量測運動元件於失效前震動頻譜之變異，並配以該實驗室獨到而專精的分類與擷取技術，可判斷出何種失效即將發生，並於該失效發生前更換或修理相關即將失效元件，以避免因失效而產生的損失。該實驗室指導教授為左明健博士，除擔任亞伯達大學機械工程學系教授外，另為 IEEE Transactions on Reliability、Reliability Engineering and System Safety、IIE Transactions on Quality and Reliability Engineering 及 International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering 等期刊之編輯委員，在可靠度領域中擁有相當的聲望。該實驗室曾以可靠度方法與模型成功替加拿大郵政解決信件傳送效率與可靠性，除此之外，該實驗室目前以其獨到而專精的失效診斷技術為能源公司監測、評估油砂輸送設備是否即將發生失效，避免因設備失效而使生產中斷，該實驗室校方簡介請參見附件一。藉由該實驗室所專精之可靠度設計與失效診斷技術，可應用於所有領域的設計工作與設備動態表現監測，當運用於核能產業時，期獲取如下之成效。

1. 藉由可靠度原理與方法，於設計階段預測產品可能壽命及找出影響壽命之關鍵元件，並藉由該產品組成元件的可靠度分配，以最少成本增進產品壽命，並提升該產品使用安全性。
2. 藉由失效診斷技術可於設備運轉階段，以間接監測的方式發現早期失效徵兆，並於該失效發生前更換或修復該失效相關元件，以確保設備運轉之安全性。

本次實習期間，自 99 年 9 月 2 日起，至 99 年 12 月 30 日止，共為期 120 天。主要研習方向為可靠度設計之理論與原理，以應用於相關設計工作上。透過左教授與其他專家之指導及討論，並讓職參與其相關課程與工作討論，使職更進一步瞭解何謂可靠度及其應用。其課程內容部分包含可靠度設計與存活分析之學習；在工作方面，讓職參加相關失效評估與診斷的討論。讓職對可靠度領域有更充分的了解與領悟，有助於職於從事實際設計作業時之應用，以增進所設計產品之可靠度與安全性。

二、 過程

此次實習共計 120 天，由 99 年 9 月 2 日至 12 月 30 日。研習地點為加拿大亞伯達省亞伯達大學機械工程學系可靠度實驗室，研習內容主要為學習可靠度應用於設計方面的理論與原理，透過其相關課程與工作討論之參與，瞭解如何利用可靠度基本理論來執行設計相關工作，並了解如何可利用間接監測的方式來診斷失效將於近期發生與否，以增進所設計產品之可靠度與使用安全性。本次研習行程及工作日誌大要如下：

行程及工作日誌大要如下：

日期	行程	公差地點	工作內容
99.09.02(四)	台北→愛德蒙頓	愛德蒙頓	去程
99.09.03(五)		愛德蒙頓	赴加拿大亞伯達省亞伯達大學機械工程學系可靠度實驗室研習可靠度應用於設計之理論與原理及失效診斷之方法
99.12.29 (三) 99.12.30(四)	愛德蒙頓→台北		返程

9 月 2 日，星期四

自桃園機場搭乘長榮航空出發，約於當地時間 9 月 2 日 19 時許到達加拿大愛德蒙頓國際機場。

9 月 03 日，星期五

在左教授引領下辦理亞伯達大學識別證(One Card)、校內及機械系所網路使用許可及圖書館資源使用許可。圖一為職於亞伯達大學之識別證。



圖一 One Card

9月05日~9月11日，第一週

為使職瞭解何謂可靠度設計並加強職在領域的理論基礎，左教授建議職參加本學期由左教授所教導之可靠度設計與由李鵬飛博士所教導的存活分析課程。可靠度設計課程綱要請參見附件二；存活分析課程綱要請參見附件三。相關課程於本週皆介紹該課程目的、規劃與所屬相關參考文獻，其中可靠度設計課程的目的在於使學生瞭解如何利用已知的統計原理應用在實際案例上；而存活分析的目的在於推導可靠度相關的數學統計模型。

9月12日~9月18日，第二週

於本週存活分析課程部分教授 Censoring 的種類與相關的定義。課程內容簡介如下：

存活分析有時亦可稱為可靠度分析，其目的在於藉由實驗樣本資料進而找出該對象或設備於若干時間內發生失效或關心事件之機率。由於觀察實驗結果的時間往往會因預算等現實因素而有所限制，Censoring 則是用來描述該一現象，以確定所用統計的模型。Censoring 大致上可分為四種:right censoring、random censoring、left censoring 與 interval censoring。

Right censoring 係指當實驗或測試時間小於所關心事件的發生時間。即於有限實驗或測試時間內未觀察到該事件的發生；random censoring 指對於不同的實驗樣本皆賦予某一固定的觀察時間；left censoring 指當經一段時間後觀察到事件已發生，但確定發生時間未知；interval censoring 則指僅關心某一時段內事件是否發生與否。

可靠度設計課程部分則教授相關統計的基本概念與原理。課程內容簡介如下：

當事件間的發生機率的交集、聯集與條件機率的運算，及介紹 Bayes Theorem。其中 Bayes Theorem 為 $\Pr(A|B) = \frac{\Pr(A)\Pr(B|A)}{\sum \Pr(E_i)\Pr(B|E_i)}$ ，其功用為將原條件機率的運算轉換至另一 domain 中，當原條件機率求法不易得到結果時，可用該法試求得。

9月19日~9月25日，第三週

本週存活分析課程教導 Truncating 的相關知識，並分析 Truncating 與 Censoring 之間的不同，其課程內容概要如下：

Truncating 與 censoring 類似但不同點在於執行 truncating 前已知所討論的樣本空間的基本資訊，而執行 censoring 時對樣本空間則無相關的資訊。所以在執行 truncating 時其實驗時間的設定係依據實驗者的需求而定，不需以嘗試的方式進行。如已知某一藥物對某一疾病有效的情況下，五年存活率為多少的實驗。

在可靠度設計課程部分則繼續上週的題目”統計的基本概念與原理”。本週的課程內容簡要如下：

首先介紹何謂隨機變數(random variable)，之後介紹何為 probability mass function (PMF, $f(x) = \Pr(X = x)$) 與 cumulative probability mass function (CMF,

$F(x)=\Pr(X \leq x)=\sum_{t \leq x} f(t)$)。此兩種函數係用於不連續的分布，如擲硬幣與投骰子，而 CMF (100 次擲硬幣中出現人頭的機率) 為 PMF (於擲硬幣中出現人頭的機率) 之和。

9 月 26 日~10 月 2 日，第四週

本週存活分析課程開始教授何謂 maximum likelihood method (MLE) 與如何應用。其內容簡述如下：

Likelihood 係用以描述當樣本空間的機率分布函數的參數未知時，將所觀察到的樣本結果帶回該機率分布函數的機率之積。其數學式如(1)，其中 θ 為該樣本空間機率分布函數的未知參數：

$$L(\theta) = \Pr(\text{data}; \theta) = \prod_{i=1}^n L_i(\theta_i) = \prod_{i=1}^n \Pr(\text{ith observation}; \theta) \quad (1)$$

而 MLE 則係假設當 $L(\theta)$ 為最大值時，此時的 θ 則為樣本空間的機率分布函數的最佳參數。所以 MLE 可用以求得樣本空間的最佳機率分布函數參數值。由於 MLE 為一機率連乘之積，此數學模型不利於運算，故一般於應用與使用上皆使用 log-MLE ($l(\theta) = \ln(L(\theta))$)。

在可靠度設計課程部分則開始介紹 binominal 與 Piosson 分布，以及其應用。

Binominal 分布係指可能的出現結果只有兩種可能，如擲硬幣，為一種常用的不連續分布，其公式如(2)，其中 n 為總實驗次數； x 為出現所欲現象的次數； p 為該現象出現的機率：

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, \quad x=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Poisson 分布則為 binominal 分布中 n 為無限大的極限的機率分布，其公式如(3)，其中!表示連乘； e 表示自然數； σ 為該現象出現的期望值：

$$f(x) = \frac{\sigma^x e^{-\sigma}}{x!}, \quad x=1, 2, \dots \quad (3)$$

10 月 3 日~10 月 9 日，第五週

本週存活分析課程教授如何利用 MLE 找出樣本模型中所需之參數，其課程內容概述如下：

透過某一樣本空間的實驗結果與 MLE 來求出該樣本空間機率分布的參數，其過程可藉由對該 likelihood function ($L(\theta)$) 作相關參數的一階微分，當該 $L(\theta)$ 對某一參數的一階微分為 0 時，則該參數值則為最佳參數值。由於所欲求得的參數數目小於實驗結果的數目，所以需使用數值方法來求得最佳參數近似值。

在可靠度設計部分則開始教授失效率的定義、數學模型與推導方式，其課程內容概述如下：

在介紹失效率之前先介紹何為 probability density function (PDF, $f(x) = \Pr(X = x)$) 與 cumulative probability density function (CDF,

$F(x)=\Pr(X \leq x)=\int_0^x f(t)dt$)。此兩種函數係用於連續的分布，而 CDF 為 PDF 之積分。失效率的定義為某一產品在某一使用條件下可能喪失原設計功能對時間的 Probability density function (PDF)。假設失效率為 $f(t)$ ，則在某一使用時間內產品發生失效的機率為 $F(x)=\int_0^t f(t)dt$ ，其中當 $t \rightarrow \infty$ 時， $F(t)=1$ 。是故，假設當某一產品失效率為呈一 Weibull 分布時，則於某一使用時間內的失效發生率為 $F(x)=\int_0^t f(t)dt=1-e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$ 。

10 月 10 日~10 月 16 日，第六週

本週存活分析課程接續上週課程內容談論當使用 MLE 方式求出未知參數後，如何判定其信心區間(confident interval)，其課程內容概述如下：

信心區間係伴隨參數的最佳點估計值，用以描述在若干的信心水準下，真實的參數值會落於該區間內。而該區間的推導需借助 Fisher information matrix 來估計該樣本空間的變異數，而該區間為 $g(\hat{\theta}) \pm Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\left(\frac{\partial g(\hat{\theta})}{\partial \theta}\right)^T I^{-1}(\hat{\theta}) \left(\frac{\partial g(\hat{\theta})}{\partial \theta}\right)}$ ，其中 $g(\hat{\theta})$ 該參數空間的估計函數； θ 為欲求的參數； $\hat{\theta}$ 為 θ 的估計值； $I(\hat{\theta})$ 為該樣本空間的 Fisher information matrix 或其估計值； $Z_{1-\alpha/2}$ 為標準常態分布在 $1-\alpha/2$ 水準下的值。

在可靠度設計課程部分則教授如何利用機率原理，來判斷在失效率已知的情況下，如何求得在某一使用時間後，產品仍能正常運作的機率。其課程內容概述如下：

在某一使用條件下，產品經過若干時間使用後仍能正常工作的機率即為可靠度。可靠度的定義恰與累積失效率相反，且可靠度機率與累積失效率之和為 1，所以可靠度 $R(t)=1-F(t)$ 。所以當產品失效率呈 exponential distribution 時，此時的產品失效率為 $f(t)=\lambda e^{-\lambda t}$ ，則於使用 t 時間後的累積失效率為 $F(t)=1-e^{-\lambda t}$ ，所以於該時間 t 的可靠度為 $R(t)=e^{-\lambda t}$ 。在本週課程中亦教導另一參數，Hazard rate。Hazard rate 的定義為： $h(t)=\frac{f(t)}{R(t)}$ ；累積 Hazard rate 則定義為 $H(t)=\int_0^t h(x)dx$ 。此外在本週中亦教導了 Mean time to failure (MTTF)的定義與應用，其中該定義為 $MTTF=\int_0^\infty R(t)dt$ ，其表示產品的平均失效時間。

10 月 17 日~10 月 23 日，第七週

本週存活分析課程教授如何利用 MLE 及信心區間的方法，判定假設(假說)成立與否。本週課程內容簡述如下：

假說檢定為統計學中非常重要的章節，其目的在於判定所探討的樣本空間性質是否與原先假定的相同。假設所關心的系統參數 θ_0 為該樣本空間總參數的一部分，且原始假說 H_0 為 $\theta=\theta_0$ 。利用 MLE 求得最佳參數估計值 $\hat{\theta}$ ，由於統計學上的原理， $(\hat{\theta}-\theta_0) \sim N(0, J^{-1}(\theta_0))$ ，其中 N 表示常態分布、 $J(\theta_0)$ 為 fisher information matrix。所以 $(\hat{\theta}-\theta_0)^T J(\theta_0)(\hat{\theta}-\theta_0) \sim \chi_p^2$ ，其中 χ_p^2 為自由度 p 的 chi-square 分布。由

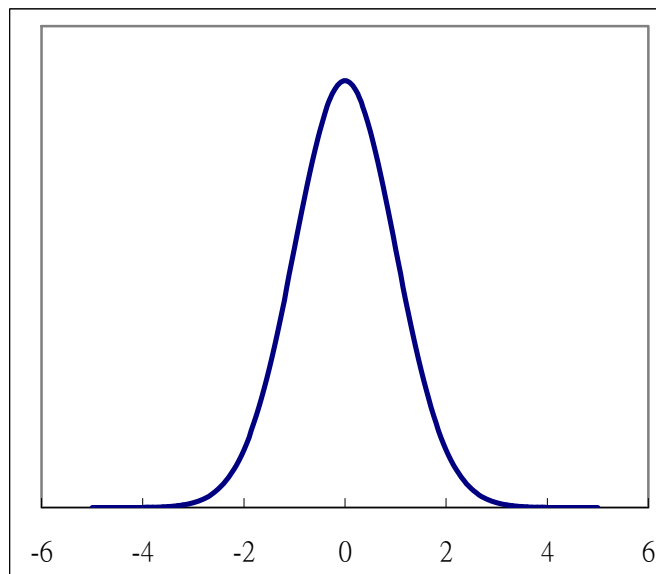
於 $J(\theta_0)$ 往往不易求得，故可用其近似值 $I(\hat{\theta})$ 代替之，故可得 $Wn = (\hat{\theta} - \theta_0)^T I(\hat{\theta})(\hat{\theta} - \theta_0)$ 。當 $Wn \leq \chi_p^2$ 則原始假說成立。

在可靠度課程部分則開始介紹於可靠度領域中常用的分布：常態分布 (normal distribution)、對數常態分布 (log-normal distribution)、指數分布 (exponential distribution) 與韋柏分布 (Weibull distribution)。本週課程內容簡述如下：

常態分布為統計上最常使用的分布，舉凡身高、體重等皆屬於該分布範疇。

常態分布的數學方程式為： $f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}$ ，其中 μ 為平均值、 σ 為標準差。

圖二為標準常態分布的示意圖。

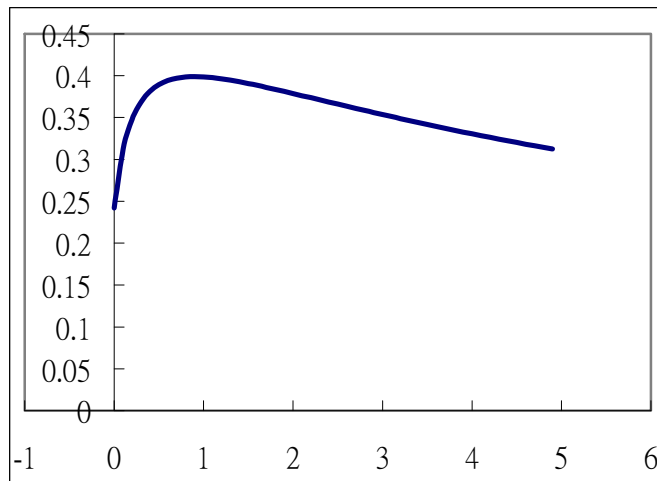


圖二 標準常態分布示意圖

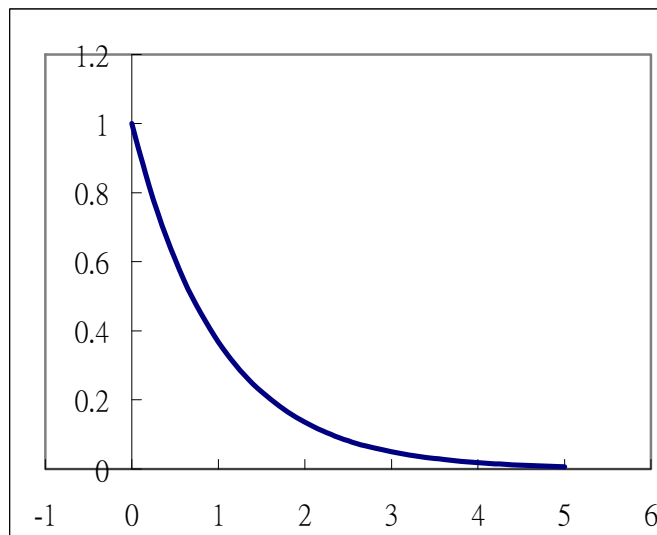
對數常態分布與常態分布類似，唯一不同的是，對數常態分布是對 $\ln(t)$ 呈常態分布，而非 t 。其數學方程式為： $f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right)^2}$ 。圖三為 $\mu=0$ 及 $\sigma=1$ 條件下的對數常態分布圖示。

指數分布常用於描述電子元件在可用期 (service life) 內的失效率分布，在可靠度領域中往往用 constant failure rate 來表示該分佈模型。在此分布模型中，失效率 λ 為一固定值，其數學方程式為： $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ ，故指定該失效率值，即可定義該分布模型。圖四為 $\lambda=1$ 下的指數分布示意圖。

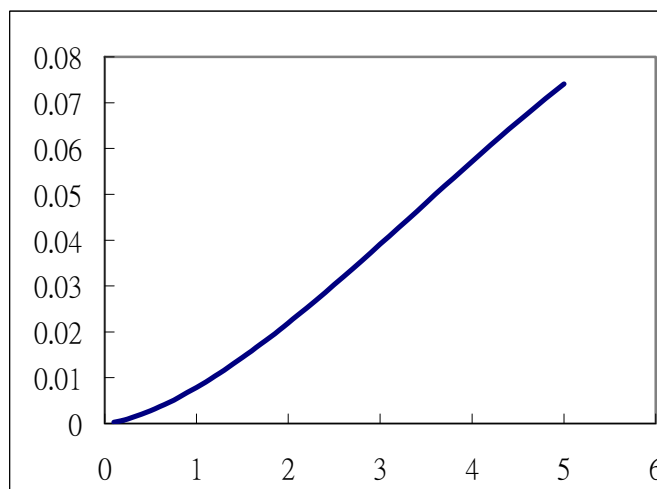
韋柏分布常用於描述機械元件的失效率分布，如軸承與馬達，其數學方程式為： $f(t) = \frac{\beta}{\alpha^\beta} t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$ 。其中 α 為 scale number； β 為 shape number。當 $\beta < 1$ 時，失效率隨時間而遞減；當 $\beta = 1$ 時，韋柏分布相同於指數分布，失效率為一定值；當 $\beta > 1$ 時，失效率隨時間而遞增。圖五為 $\alpha=10$ 及 $\beta=2.5$ 的韋柏分布示意圖。



圖三 對數標準常態分布示意圖



圖四 指數分布示意圖



圖五 韋柏分布示意圖

10月24日~10月30日，第八週

本週存活分析課程開始教授如何由樣本結果判斷所預測分布模型的參數。本週課程簡述如下：

假設 $T_1 \dots T_n$ 為來自於失效率為 λ 的指數分布，則其 likelihood function 為

$L(\lambda) = \prod_{i=1}^n f(y_i)^{\delta_i} S(y_i)^{1-\delta_i} = \lambda^{\sum_{i=1}^n \delta_i} e^{-\lambda \sum_{i=1}^n y_i}$ ，其中 δ_i 表示於第 i 次是否有觀察到所欲見的事件發生，如發生，則 $\delta_i = 1$ ；若無，則 $\delta_i = 0$ ；此處的 $S(y_i)$ 等同於可靠度設計課程中的 $R(t_i)$ 。當 $L(\lambda)$ 已知時，其 log-likelihood function 為

$l(\lambda) = \log(\lambda) \sum_{i=1}^n \delta_i - \lambda \sum_{i=1}^n y_i = d \log(\lambda) - \lambda z$ ，其中在存活分析課程中 \log 表示 \ln ； $d = \sum_{i=1}^n \delta_i$ 為

所觀察事件發生的次數； $z = \sum_{i=1}^n y_i$ 為總測試時間。當 MLE 條件成立時， $\hat{\lambda} = \frac{d}{z}$ ，

估計變異量 $\widehat{\text{var}}(\hat{\lambda}) = \frac{d}{z^2}$ 。所以參數 λ 在該樣本結果條件下，95% 的信心區間為

$$\frac{d}{z} \pm 1.96 \sqrt{\frac{d}{z^2}}$$

在可靠度設計課程部分則深入講解常態分布及對數常態分布所需的參數及如何藉由樣本資料求出相關參數。本週課程簡述如下：

當樣本已知的情況下，描述樣本空間的常態分布模型的參數近似值可藉由 MLE 或 moment method 求得。下式表示於該已知樣本條件下常態分布模型相關

參數的最佳估計值： $\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ； $\hat{\sigma} = s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ 。同樣地，利用前述的方法，可求得對數常態分布模型於該樣本條件下的最佳參數估計值。下式表示如何

用樣本數據求得該估計值： $\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln t_i$ ； $\hat{\sigma} = s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln t_i - \bar{x})^2}$ 。

10月31日~11月6日，第九週

本週存活分析課程教授在無法預測樣本所屬模型時如何運用 MLE 找出該樣本應屬的分布模型。本週課程簡述如下：

在先前課程討論用 MLE 的方法找出已知樣本空間模型的最佳參數，但是有時在事前無法預測該樣本空間所屬的模型，所以此時無法利用先前課程所教授的方法來求取該樣本空間的最佳參數。錯誤預估所屬的模型將會導致結論與真實群體情況產生的嚴重偏差，但是當確實已知所屬樣本空間模型時，用先前課程所談述的方法來求取最佳樣本模型參數會較為簡易與精準。以下將簡述當樣本空間模型未知時，如何預估其相關樣本空間分布參數：假設 $\{(y_i, \delta_i), i = 1 \dots n\}$ 為 right censoring 的樣本資料，則其 likelihood 函數為

$L = \prod_{i=1}^n \{\Pr(T_i = y_i)\}^{\delta_i} \{\Pr(T > y_i)\}^{1-\delta_i} = \prod_{j=0}^m \{\Pr(T = t_j)\}^{d_j} \prod_{k=1}^{r_j} \{\Pr(T > t_{jk})\}$ ，其中 m 表示所有觀察到事件的數量； δ_i 為 $[t_i, t_{j+1})$ 時間區間內事件發生的數量； r_j 表示在 $[t_i, t_{j+1})$ 中第 r_j 時間區段。所以，上式中 $\Pr(T = t_j)^{d_j}$ 表示在 $[t_i, t_{j+1})$ 發生事件的機率之積，而

$\prod_{k=1}^{r_j} \Pr(T > t_{jk})$ 表示在 $[t_j, t_{j+1})$ 中能存活（該觀察事件沒有發生）的機率之積。在上式中將每一時間區段視為個別相同的小群組，即群組內所有事件的發生機率相同，則上式可簡化為 $L = \prod_{j=1}^m \{\Pr(T = t_j)^{d_j} \Pr(T > t_j)^{r_j}\}$ ，所以該式的 log-likelihood 函數為 $l = \sum_{j=1}^m \{d_j \log(h_j) + (n_j - d_j) \log(1 - h_j)\}$ ，其中 $h_j = \hat{h}_j = \frac{d_j}{n_j}$ 。所以每一小群組的存活函數為： $\hat{S}(t) = \prod_{t_k < t} (1 - \frac{d_k}{n_k})$ 。上述用小群組方式來推導未知樣本空間模型存活函數的方法稱作 Kaplan-Meier (K-M) 法，其概念類似於以積分方式來求出某一函數曲線區段下的面積。

在可靠度設計部分，教授如何利用樣本資料找出所屬指數分布與韋伯分布相關參數。本週課程簡述如下：

指數分布最常被利用在預測電子元件在可用期內的失效機率或可靠度，指數分布與其他分布的最大不同點在於：指數分布的失效率為一常數，即其失效密度函數為 $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ ，其中 λ 為一定值。在指數分布中可靠度 $R(t) = e^{-\lambda t}$ ，且 $MTTF = \frac{1}{\lambda}$ 。所以 λ 的估計值為 $\hat{\lambda} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i}$ 。

韋伯分布最常被利用在預測機械元件的可靠度，其失效密度函數為 $f(t) = \frac{\beta}{\alpha^\beta} t^{\beta-1} e^{-(\frac{t}{\alpha})^\beta}$ 。當利用韋伯函數來描述產品失效率變化時，由於該失效密度函數隨時間上升或下降的趨勢可藉由控制 β 值來決定（當 $\beta < 1$ 為隨時間下降趨勢； $\beta = 1$ 等同於指數分布； $\beta > 1$ 則為隨時間上升趨勢），故其亦可用於描述元件或產品於早夭期或磨耗期的可靠度分布趨勢。一般而言，韋伯函數的參數無法利用解析解求出，故僅可用數值方法出該參數值 α 與 β 。

11 月 7 日~11 月 13 日，第十週

本週存活分析課程討論當未知樣本分布模型時，如何由實驗獲得的樣本資料求得該樣本存活率的信心區間。本週課程簡述如下：

因為存活函數的 log-likelihood 函數為 $l = \sum_{j=1}^m \{d_j \log(h_j) + (n_j - d_j) \log(1 - h_j)\}$ ，且 $\hat{S}(t) = \prod_{t_k < t} (1 - \frac{d_k}{n_k}) = \prod_{t_k < t} (1 - \hat{h}_k)$ ，所以該 log-likelihood 函數對 h 的二階微分為 $\frac{\partial^2 l}{\partial^2 h} = -\frac{d_j}{h_j^2} - \frac{(n_j - d_j)}{(1 - h_j)^2}$ ，且 $\frac{\partial^2 l}{\partial h_j \partial h_k} = 0$, when $j \neq k$ 。由 fisher information matrix 可知 \hat{h}_j 的變異數預估值為 $Var(\hat{h}_j) = \frac{1}{\frac{d_j}{h_j^2} + \frac{(n_j - d_j)}{(1 - h_j)^2}} = \frac{d_j(n_j - d_j)}{n_j^3} = \frac{\hat{h}_j(1 - \hat{h}_j)}{n_j}$ 。因為 $\hat{S}(t) = \prod_{t_k < t} (1 - \hat{h}_k)$ ，所以 $\log \hat{S}(t) = \sum_{t_k < t} \log(1 - \hat{h}_k)$ 。由 Delta Method 可知，

$$\widehat{Var}(\log(1-\hat{h}_k)) = \frac{d_k}{(n_k - d_k)n_k}, \text{ 所以 } \widehat{Var}(\hat{S}(t)) = \{\hat{S}(t)\}^2 \sum_{t_k < t} \frac{d_k}{(n_k - d_k)n_k}。 \text{ 因此 } S(t) \text{ 的標準差}$$

$$\text{爲 } \widehat{st}(t) = \frac{\sqrt{\sum_{t_k < t} \log(1 - \frac{d_k}{n_k})}}{\sum_{t_k < t} \frac{d_k}{(n_k - d_k)n_k}}, \text{ 所以 } S(t) \text{ 在 } 1-\alpha \text{ 的信心區間爲 } \{\hat{S}(t)\}^{e^{\pm Z_{1-\alpha/2} \cdot \widehat{st}(t)}}。$$

在可靠度設計部分，開始教授當利用實驗樣本結果求得相關失效率與可靠度，並找出可能的分布參數。本週課程簡述如下：

當樣本實驗結果已知，但不知相關樣本空間模型時，可用下式分別求得可靠

$$\text{度、失效密度與失效率的估計值： } \hat{R}(t_i) = \frac{N_s(t_i)}{N} = \frac{N - \sum_{j=1}^i r_j}{N}, i=1\dots k ;$$

$$\hat{f}(t_i) = \frac{N_f(t_i)}{N \times (t_{i+1} - t_i)} = \frac{r_{i+1}}{N(t_{i+1} - t_i)}, i=1\dots n-1 ;$$

$$\hat{h}(t_i) = \frac{N_f(t_i)}{N_s(t_i) \times (t_{i+1} - t_i)} = \frac{r_{i+1}}{(N - \sum_{j=1}^i r_j)(t_{i+1} - t_i)}, i=1\dots n-1, \text{ 其中 } N_s(t_i) \text{ 爲在 } t_i \text{ 時仍正常(存活)}$$

的樣本數量； r_j 表示在 $(t_{j-1}, t_j]$ 區間內失效的樣本數量。

當樣本空間分布模型已知時，可藉由圖解法求出相關分布模型的參數估計值，以下分別說明如何利用圖解法找出常態分布、對數常態分布、指數分布與韋伯分布的相關分布模型參數值：

常態分布：

使用上式求出於各時間點時的可靠度 $\hat{R}(t_i)$ ，將 $1-\hat{R}(t_i)$ 與其相對應的時間描繪於常態分布繪製圖紙上(請參見附件四)，以目視方式繪製一最能表示各描繪點趨勢的直線，該直線與該圖紙 μ 標示線交會的時間即為常態分布中的平均值(μ)；該直線與 σ 標示線交會的時間減去該平均值，即為該分布參數的標準差(σ)。

對數常態分布：

使用上式求出於各時間點時的可靠度 $\hat{R}(t_i)$ ，將 $1-\hat{R}(t_i)$ 與其相對應的時間描繪於對數常態分布繪製圖紙上(請參見附件五)，以目視方式繪製一最能表示各描繪點趨勢的直線，該直線與該圖紙 μ 標示線交會的時間取對數即為對數常態分布中的平均值(μ)；該直線與 σ 標示線交會點相對應於該圖紙上方的數值減去該平均值所對應的數值，即為該分布參數的標準差(σ)。

指數分布：

使用上式求出於各時間點時的可靠度 $\hat{R}(t_i)$ ，將 $1-\hat{R}(t_i)$ 與其相對應的時間描繪於指數分布繪製圖紙上(請參見附件六)，以目視方式繪製一最能表示各描繪點趨勢的直線，該直線與該圖紙 $1/\lambda$ 標示線交會的時間值即為該失效率的倒數($1/\lambda$)，所以對該值取倒數後即可得指數分布中的失效率 λ 。

韋伯分布：

使用上式求出於各時間點時的可靠度 $\hat{R}(t_i)$ ，將 $1 - \hat{R}(t_i)$ 與其相對應的時間描繪於韋伯分布繪製圖紙上(請參見附件七)，以目視方式繪製一最能表示各描繪點趨勢的直線，該直線與該圖紙 η 標示線交會的時間值即為該分布的 α 值。再從左上方的圓點繪製一條與該分布線平行的直線，該直線與最上方水平線相交的數值即為該分布的 β 值。

11 月 14 日~11 月 20 日，第十一週

本週存活分析課程開始教授常用的迴歸模型及所屬參數的相關意義。以下是本週課程的簡述：

樣本的分布往往是由主變數(variables)與協變數(covariates)所共同影響的。協變數不同於主變數，主變數是直接影響樣本結果的，而協變數其對樣本結果的影響往往是間接的或影響較小的。如同在一個 sine 波產生器所產生的訊號中，其頻率、相位與振幅為該訊號的主變數，但是在實際的輸出中往往存在著些許偏差，而這些偏差可能跟廠牌型號相關，這時，廠牌型號即為該 sine 波產生器的協變數。在存活分析中，一般有兩種方式來處理迴歸模型。第一種為比例風險迴歸模型 (PH)；第二種為加速失效時間迴歸模型(AFT)。在 PH 模型中，設定其比例失效為： $h(t;x) = h_0(t)\exp(x^T\alpha)$ ，其中 $h_0(t)$ 為 baseline hazard function(基準失效函數)，即為主變數的函數部分； x 為協變數向量； T 表示 transpose； α 表示迴歸係數。所以依此設定，其存活率函數為： $S(t;x) = S_0(t)^{\exp(x^T\alpha)}$ ，其中 $S_0(t)$ 為基準存活函數；失效密度函數為： $f(t;x) = h_0(t)\exp(x^T\alpha)S_0(t)^{\exp(x^T\alpha)}$ 。而 α 值為探討此模型時所關心的數值。

在 AFT 模型中，假定 $Y = \alpha_0 + x^T\alpha + \tau W$ ，其中 Y 樣本輸出結果(在此處為時間的自然對數值 $Y = \log T$)； α_0 為基準迴歸係數； τ 為比例係數； W 為 error(其與樣本空間有相同的分布)。所以原樣本模型的失效密度函數為： $f(t;x) = \frac{1}{\tau} g_0\left(\frac{\log t - \alpha_0 - \alpha^T x}{\tau}\right)$ ；而存活函數為： $S(t;x) = G_0\left(\frac{\log t - \alpha_0 - \alpha^T x}{\tau}\right)$ ，其中 g_0 為 W 的機率密度函數，而 G_0 為 W 的累積機率密度函數。同樣地，在 AFT 模型中，所關心的仍是 α 值。

在可靠度設計部分，開始教授在選擇使用元件時，如元件的負載與強度皆為常態分布下，其負載與強度對該元件於該環境下可靠度的影響。以下是本週課程的簡述：

元件失效的情況發生於元件負載大於元件強度的時候，即 $\text{load}(\text{stress}) > \text{strength}$ 。如元件的強度與附載的平均值與標準差皆為已知時，安全裕度(safety margin)為： $SM = \frac{\mu_s - \mu_l}{\sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_l^2}}$ ，其中 μ_s 為元件強度的平均值； σ_s 為元件強度的標準差； μ_l 為元件負載的平均值； σ_l 為元件負載的標準差。如僅知元件公稱(nominal)強度與附載時，安全因子(safety factor)則定義為： $SF = \frac{\mu_s - \mu_l}{\mu_l}$ 。

在元件強度與負載的條件與定義下，該元件可靠度可表示為：
 $R = \Pr(s > l) = \int_0^\infty (\int_0^s f_l(l) dl) f_s(s) ds$ ，其中 s 表示強度； l 表示負載； f_s 為強度的分布函數； f_l 為負載的分布函數。所以當元件的強度與負載皆為常態分布時，其可靠度可表示為： $R = \Phi(SM)$ ，其中 Φ 表示標準累積常態分布函數。

11 月 21 日~11 月 27 日，第十二週

本週存活分析課程開始教授如何利用實驗樣本資料求出 AFT 迴歸模型之參數。以下是本週課程的簡述：

實驗樣本資料的 log-likelihood 函數可表示為：
 $l(\theta) = \sum_{i=1}^n \{\delta_i \log f(y_i; x_i) + (1 - \delta_i) \log S(y_i; x_i)\}$ ，其中 $\theta = (\alpha_0, \alpha^T, \tau)^T$ 。當 g_0 與 G_0 為已知時，該 log-likelihood 函數可表示為： $l(\theta) = \sum_{i=1}^n \{\delta_i \log(\frac{1}{g_i \tau} g_0(W_i)) + (1 - \delta_i) \log G_0(W_i)\}$ ，其中 $W_i = \frac{\log y_i - \alpha_0 - \alpha^T x_i}{\tau}$ 。為求得最大可能參數值，則須對該 log-likelihood 函數所有參數取一次微分。假設 $a_i = \frac{d}{dw_i} \{\delta_i \log g_0(W_i) + (1 - \delta_i) \log G_0(W_i)\}$ ，則對 α_0 一次微分為：
 $U_0(\theta) = -\tau^{-1} \sum_{i=1}^n a_i$ ；對 α 一次微分為： $U_j(\theta) = -\tau^{-1} \sum_{i=1}^n a_i x_{ij}$, $j=1 \dots p$ ；對 τ 的一次微分為：
 $U_{p+1}(\theta) = -\tau^{-1} \sum_{i=1}^n \{a_i W_i + \delta_i \log(y_i)\}$ 。當上述各項微分式皆等於 0 時，則此時的 α_0 、 α_j 與 τ 即為所需的最大可能 AFT 迴歸模型參數值。

在可靠度設計部分，開始教授在產品系統中，元件間配置如何影響系統可靠度及計算。以下是本週課程的簡述：

一般而言，產品是由許多相同或不同元件藉由彼此間串聯、並聯的方式建構而成。在串聯系統中，由於任一元件的失效皆會導致該系統失效，所以系統的正常運作是建立在所有元件皆正常運作的條件下，故在計算串聯系統的可靠度時，可利用下述方式： $R_s = \prod_{i=1}^n R_i$ ，其中 R_s 為串聯系統可靠度； R_i 為所屬元件 i 的可靠度。

在併聯系統中，系統的失效發生在所有組成元件皆失效的情況下，所以併聯系統的可靠度為： $R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$ ，其中 R_p 為併聯系統可靠度。

在如供電系統中，其系統正常運作的條件為： n 部機組中只要有 k 部機組能正常運作，則系統即能正常表現其輸出能力(k out of n: good)。在此情況下，系統的可靠度可利用下述方法求出： $R(k, n) = R_n R(k-1, n-1) + F_n R(k, n-1)$ ，以疊代的方式求至 $R(0, n)$ 或 $R(k, n)$, $k > n$ 出現為止。其中 $R(k, n)$ 為該系統可靠度； R_n 為 n 元件的可靠度； F_n 為 n 元件的失效機率； $R(0, n) = 1$ ； $R(k, n) = 0, k > n$ 。

11 月 28 日~12 月 4 日，第十三週

本週存活分析課程開始教授如何利用實驗樣本資料求出 PH 迴歸模型之參

數。以下是本週課程的簡述：

樣本資料的 log-likelihood 函數可表示為：
 $l(\theta) = \sum_{i=1}^n \{\delta_i \log f(y_i; x_i) + (1 - \delta_i) \log S(y_i; x_i)\}$ ，其中 θ 為 α 與 $h_0(t)$ 參數的集合。由於

$S(t; x) = S_0(t)^{\exp(x^T \alpha)}$ 及 $f(t; x) = h_0(t) \exp(x^T \alpha) S_0(t)^{\exp(x^T \alpha)}$ ，故該 log-likelihood 函數可寫為：
 $l(\theta) = \sum_{i=1}^n [\{\delta_i \log \{h_0(t) \exp(x^T \alpha) S_0(t)^{\exp(x^T \alpha)}\} + (1 - \delta_i) \log S_0(t)^{\exp(x^T \alpha)}]$ ，簡化後可得

$\sum_{i=1}^n \delta_i \log h_0(y_i) - \sum_{i=1}^n \exp(x^T \alpha) H_0(y_i) + \sum_{i=1}^n \delta_i x_i^T \alpha$ ，其中 $h_0(t)$ 為基準失效函數；其中 $H_0(t)$ 為累積基準失效函數。假設每一小群組的實驗樣本結果各分別屬於相關的指數分布，則該 log-likelihood 函數可更進一步寫為：

$l(\theta) = \sum_{i=1}^n \delta_i \sum_{k=1}^K C_{ik} \log \lambda_k - \sum_{i=1}^n \exp(x_i^T \alpha) \sum_{k=1}^K \lambda_k S_{ik} + \sum_{i=1}^n \delta_i x_i^T \alpha$ ，其中 C_{ik} 表示為該時間區段中是否有所欲觀察事件的發生，如有則 $C_{ik} = 1$ ，若無 $C_{ik} = 0$ ； λ_k 為該區段的指數分布失效率； S_{ik} 為該時間區段中的存活率。由於所關心的變數為 α ，所以該

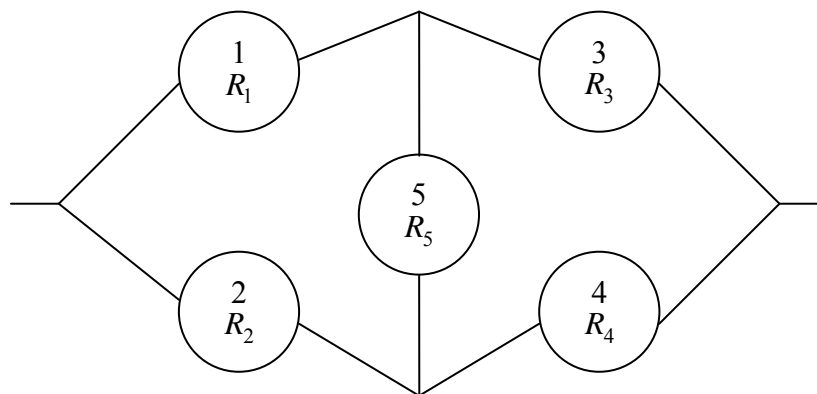
log-likelihood 函數對 α 取一次微分，則得 $U(\alpha) = \sum_{i=1}^n \delta_i x_i - \sum_{i=1}^n \delta_i \frac{\sum_{l=1}^n \exp(x_l^T \alpha) (\sum_{k=1}^K C_{ik} S_{lk}) x_l}{\sum_{l=1}^n \exp(x_l^T \alpha) (\sum_{k=1}^K C_{ik} S_{lk})}$ 。

假設 $\bar{x}_i(\alpha) = \frac{\sum_{l=1}^n \exp(x_l^T \alpha) (\sum_{k=1}^K C_{ik} S_{lk}) x_l}{\sum_{l=1}^n \exp(x_l^T \alpha) (\sum_{k=1}^K C_{ik} S_{lk})}$ ，所以 $U(\alpha) = \sum_{i=1}^n \delta_i x_i - \sum_{i=1}^n \delta_i \bar{x}_i(\alpha)$ 。當 $U(\alpha) = 0$ 時，此

時的 α 即為最大可能的 PH 迴歸模型參數值。

在可靠度設計部分，開始教授如何簡化複雜系統為基本可靠度模型的組合。以下是本週課程的簡述：

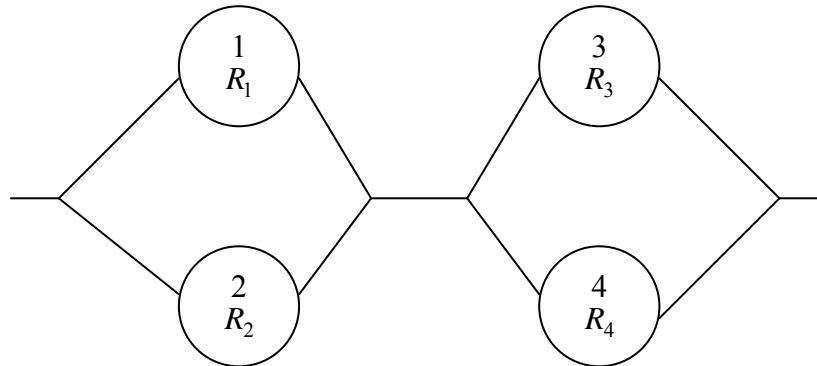
在一實際系統中經常可發現橋式結構(請參見圖六)，而其簡化方式如下：



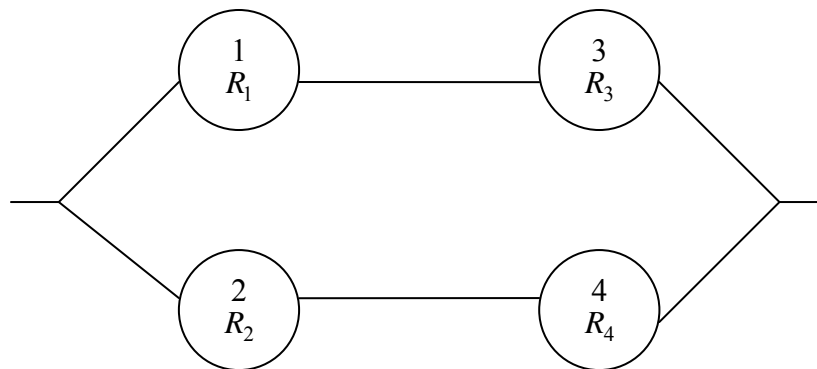
圖六 橋式結構系統

在該結構中，元件五變演了橋接的作用，所以其正常與否關係到這橋式結構的簡化形式。當元件五為正常時，
 $R_5 = \Pr(X_5 \text{ works})\Pr(\text{sys. works} | X_5 \text{ works}) + \Pr(X_5 \text{ fails})\Pr(\text{sys. works} | X_5 \text{ fails})$ ，其中 X_5 表示

該元件五。當元件五正常時，圖六可簡化為圖七所示的併串聯系統，此時此部分的系統可靠度為： $R_{sw} = [1 - (1 - R_1)(1 - R_2)][1 - (1 - R_3)(1 - R_4)] \cdot R_5$ 。當元件五失效時，圖六可簡化為圖八所示的串併聯系統，此時此部分的系統可靠度為： $R_{sf} = [1 - (1 - R_1 R_3)(1 - R_2 R_4)] \cdot R_5$ 。所以系統可靠度為： $R_s = R_{sw} + R_{sf}$ 。

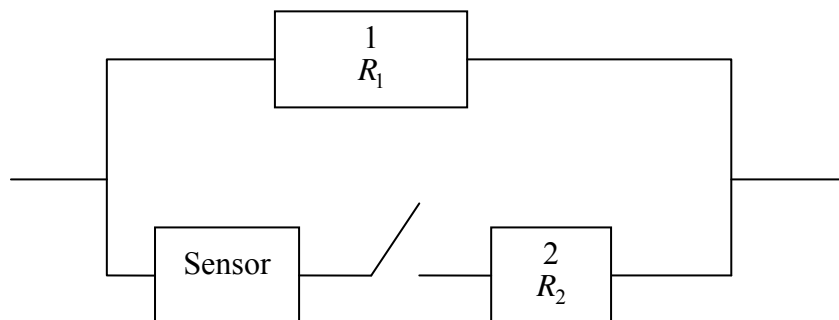


圖七 併串聯系統



圖八 串併聯系統

另一種常見的結構為待機系統(standby system)，如圖九所示：



圖九 待機系統

此系統能正常運作的可能為：1. 元件一能從開始使用到任務完成；2. 元件一於使用中損壞，但 sensor 立即將迴路由經過元件一變為經過元件二，且元件二能繼續使用到任務完成為止。所以系統可靠度為：

$$R_s(t) = R_1(t) + \int_0^t f_1(x) dx \cdot R_2(t-x) = R_1(t) + \int_0^t f_1(x) R_2(t-x) dx \text{。}$$

12 月 5 日~12 月 11 日，第十四週

本週所有課程結束，職開始學習 1hp 以下的電動馬達的可靠度，以 RADC-TR-77-408 (Electric Motor Reliability Model)為參考。以下為本週的學習重點：

RADC-TR-77-408(以下稱為該手冊)係由美軍所發展，其研究內容針對小於 1 馬力功率的電動馬達(以下稱為該馬達)之可靠度。在研究階段發現該馬達的失效主要來自於軸承(80.85%)或線圈(16.55%)的失效，而此兩種失效經研究發現其失效率對時間呈韋伯分布。所以在該手冊稍後的內容中將會以軸承與線圈失效做為研究重點，並利用迴歸的方法來找出相關韋伯分布的參數，用以預測軸承或線圈失效的可能，進而預測馬達失效的機率。

該手冊一開始先介紹韋伯分布對可靠度相關的基本概念，如下所述：

$$\text{累積失效函數：} F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \text{；}$$

$$\text{失效密度函數：} f(t) = \frac{\beta}{\alpha^\beta} t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \text{；}$$

$$\text{失效率函數：} h(t) = \frac{\beta}{\alpha^\beta} t^{\beta-1} \text{；}$$

$$\text{累積失效率函數：} H(t) = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \text{。}$$

接下來在該手冊中開始討論對軸承壽命的影響因子。由於軸承的壽命與其潤滑狀態有非常直接的關係，在實驗中發現在正常的負載及溫度狀態下，負載對膜厚的影響甚小，反而轉速的影響甚大。其原因在於當轉速提高時，潤滑劑的冷卻及潤滑效果皆下降，所以會降低軸承壽命。所以軸承壽命與負載的關係可由下式表示： $\log life = \frac{A}{T} + B - 0.001N\left[\frac{W}{SP}\right]^{1.5}$ ，其中 A、B 為常數；N 為轉速(RPM)；W 為負載；為比動態能力(specific dynamic capacity at 33.33 RPM-lbs)。當增加溫度、潤滑劑品質等級、軸承孔徑、轉速、潤滑劑能力後，經實驗，軸承的壽命可以用下式預估： $\log life = \frac{2342}{T} + q - 4.23DN \times 10^{-6} - K_g - 0.001N\left[\frac{W}{SP}\right]^{1.5}$ ，其中 life 在韋伯分布下的軸承壽命；T 為軸承溫度(°K)；q 品質等級；D 為孔徑；K_g 為潤滑劑常數。

12 月 12 日~12 月 18 日，第十五週

接續上週對該手冊的學習。以下是本週的學習重點：

但是當溫度降低到某一程度時(在該手冊中其溫度範圍為 10~30°C)，由於潤滑劑的黏度變得過大，反而降低的潤滑的效果。經實驗發現在低溫時軸承壽命的預估不同於前式，須使用下式估計之： $life = 10^{\frac{-4760}{T} + 19.7} + 300$ 。如當該軸承的

係使用在高低溫循環的環境下，則可使用下式來預估其壽命： $\sum_{i=1}^n \frac{\text{hrs. at } T_i}{\text{life at } T_i} = 1$ ，所以壽命為 $\sum_{i=1}^n T_i$ 。

皆下來討論線圈的壽命，當線圈使用在 125°C 以上的環境時，經實驗，其壽命可表示為： $\log \text{life}_w = \frac{4333}{T} - 3.52 + q$ ，其中 q 為該線圈的品質等級。當線圈靜子小於一英吋且使用在 125 °C 以下的環境時，其壽命則可表示為： $\log \text{life}_w = \frac{2342}{T} - 1.206 + q$ 。該線圈如使用在高低溫循環的環境下，則亦可使用下式來預估其壽命： $\sum_{i=1}^n \frac{\text{hrs. at } T_i}{\text{life at } T_i} = 1$ ，所以壽命為 $\sum_{i=1}^n T_i$ 。

12 月 19 日~12 月 25 日，第十六週

接續上週對該手冊的學習。以下是本週的學習重點：

當軸承與線圈的壽命分布已知時，則該馬達的壽命可用下式來預估：

$\ln R(t) = -\left[\left(\frac{t}{\alpha_B}\right)^3 + \frac{t}{\alpha_W}\right]$ ，其中 $R(t)$ 為該馬達的對時間的可靠度； α_B 為軸承壽命韋伯分布中的 α 參數值； α_W 為線圈壽命韋伯分布中的 α 參數值。 α_B 可用下式求出： $\frac{1}{\alpha_B} = \frac{1}{10^{\left(\frac{2357}{T_{amb}} - 2.534\right)}} + \frac{1}{10^{\left(\frac{-4500}{T_{amb}} + 20\right)} + 300}$ ； α_W 可用下式求出： $\alpha_W = \frac{2357}{T_{amb}} - 1.83$ ，其中 T_{amb} 表

示環境溫度，在軸承溫度約高於環境溫度 26°C，而線圈溫度則高於環境溫度約 36°C。

12 月 26 日星期日~12 月 28 日星期二

整理資料及行囊。

12 月 29 日星期三~12 月 30 日星期四

12 月 29 日上午 9 時 45 分自加拿大愛德蒙頓機場搭乘加拿大航空出發，於本地時間 12 月 30 日晚上 20 時 45 分到達桃園國際機場。

三、心得

本次研習受益良多，不僅學得相關專業知識，亦見識到國外大學如何教授與探研知識，並拓展相關人際關係，可以從下列數點加以敘述之：

1. 本次研習見識外國學者對研究的態度與方式，例如在擷取震動頻譜的訊號實驗中，外國學者會預先對於可能的發生結果以理論、模擬與過往經驗做一推估，不若國內實驗往往是以先做再說的態度進行。且外國學者樂於使用自己團隊所開發的方法來處理可能或已面對的問題，且會比較相關可行方法的優缺點，確保自行所開發的方法是最有價值的，不若國內往往是認為如有現成的方法，則無須另行開發新的方法，也不需比較各方法間的差異，除非發現所採用的方法不適合用於目前條件。
2. 本次研習對可靠度有更進一步的了解，最主要收穫在於了解的可靠度相關的知識，使職更能了解相關可靠度手冊中的內容，有利於職在選擇手冊中所建議的方法時能做更精確的判斷，增進職在設計工作上的能力。
3. 與可靠度實驗室所有同仁一起工作，發現該實驗室的分工非常精細。有專門推導可靠度模型的人員、有專門模擬與程式撰寫人員、有訊號處理人員及實驗人員。由於該實驗室建立之初的工作為可靠度模型的建立，經十多年的努力，該實驗室有超過數十篇的期刊發表於此領域。由於有不同專長的人員，故可將其所開發的可靠度模型應用在實際的應用上，如郵件系統的可靠度規劃、slurry pump 的失效預測及風車葉片在低溫狀態下的工作可靠度。這使職了解到，有效的人力規劃有助於理論的精進與驗證。
4. 研習期間每日課程與學習事項繁多，工作步調緊湊，左教授及李教授毫無保留地教導職相關之課程知識及研究課題。因此，雖然壓力頗大但也學得很多可靠度相關的知識與背景，並了解如何將這些知識與實務連接。
5. 亞伯達大學華人研究生、教授或學者約占總相關人數二至三成，但絕大部分來自於中國大陸。目前中國政府鼓勵中國國內研究生與教授至海外著名大學進修或研習，平均而言，一省分內一所著名的大學一年公派至海外進修或研習人數超過一百人，可發現中國對新的科技與知識之企圖心，值得我政府警惕與借鏡。
6. 利用此次研習機會，體驗了加拿大亞伯達省愛德蒙頓市的生活，並藉由上課與討論的機會認識了許多來自於其他國家的人，使職得以見識到不同文化及不同的做事模式。

四、建議事項

本次研習之建議事項主要有下列幾點：

1. 加拿大政府投資在學術單位的經費較我國為高，其平均教授或研究人員薪資亦皆較我國為高，故許多其他國家頂尖學者願意至加拿大從事相關研究工作，故此值得我政府借鏡、採行。
2. 亞伯達大學機械系與許多政府或私人單位有共同合作計畫，使得所發展的理論得以實用化，並藉由應用過程了解理論不足之處，得以更精進其理論，足以為我國研究及學術單位之參考。
3. 加拿大亞伯達省為一英語區，但亞伯達大學仍有專人教導如何用英文撰寫期刊論文或報告，並有專人協助相關的英語寫作。可靠度實驗室亦有專門經費支付期刊論文投稿前相關英文校稿費用，可供本所參考。
4. 加拿大學術單位內中國研究生、教授與學者數量頗多，顯見中國政府對汲取先進國家知識的重視。相較之下，我國海外學者數量顯為不足，若長此以往，我國在知識上優勢，將逐漸消失。故國內學術單位應多爭取出國學習之機會，以增進我國在知識上的競爭力。

附錄一 可靠度實驗室校方簡介



Mechanical Engineering

Smooth Operator

by Phoebe Dey

Dr. Ming Zuo makes sure systems are operating as smoothly as possible. That's a simple way of describing the renowned mechanical engineer's work in system reliability—the study of how to ensure a unit runs successfully over a certain period of time.

"The reliability of an engineering system depends on its design, manufacture, operation, and maintenance," says Zuo. "After a system is commissioned into operation, reliability engineers use condition monitoring techniques to assess its health status. The derived health information of the system is then used in making maintenance decisions on when to shut down and replace deteriorated components. You don't want to shut down a machine too early or wait too long for disaster to strike."

Zuo, one of the longest-serving professors in the Department of Mechanical Engineering, runs the U of A's Reliability Research Lab. His projects have ranged from conducting a simulation study of the Edmonton Mail Processing

Plant for Canada Post to running experiments on slurry pumps for Syncrude Canada.

During the more than 20 years Zuo has been immersed in reliability research, the trend has shifted towards a philosophy of "asset management." This type of management considers the life cycle of an asset, from conceptual design through to the manufacturing, operational, and maintenance stages.

"This is becoming a critical issue," says Zuo. "You want to fully utilize the investments to get the maximum use out of them. The key questions are 'how long is it going to last, and can you extend its life?'" Because of recent advancements in sensor and information technology, condition monitoring plays an ever more important role in ensuring the reliability of various devices.

Zuo points to the oil sands as an example of where asset management can save the industry money. In one project, he is working with Syncrude to lengthen the life of its slurry pumps. Whenever a pump needs repair, the



company must bring in cranes, open the pumps, and replace the failed components. The company ends up having to shut down the pumps for several days, incurring a huge production loss. "To better manage equipment lifespan, we need a way of determining the exact time the pumps need to be shut down rather than relying on a standard

Continued on page 3

moving life forward

www.engineering.ualberta.ca/mece

schedule that may result in a shutdown too early or too late," Zuo says.

"We suggest installing sensors on the pump that could collect such data as pressure, flow rate and vibration. This data will tell you that you might have two weeks left before you need to schedule a repair. That way you're not shutting down prematurely or damaging your equipment by not predicting an imminent failure."

Zuo is also looking to vibration analysis tools to help detect failure in other rotating

equipment. Specifically, Zuo and his research team are working on gear boxes that drive conveyor belts in the oil sands. In his lab, he can simulate a crack or wear in gears. He can control for a number of variables and use a vibration-monitoring system to pinpoint the early damage in critical components before the whole system fails.

Companies must currently schedule periodic maintenance repairs because they do not have accurate information on their

equipment's health, says Zuo. "Syncrude couldn't tell when the gears were breaking down until the gearbox stopped running. We are in the process of doing experiments in the lab and developing indicators of early damage in gears to help company make effective gearbox operation and maintenance decisions."

附錄二 可靠度設計課程綱要

ENGM 514 X1: Reliability for Design

Dr. Ming J. Zuo, 5-8L Mech Eng Bldg, 492-4466 (phone), 492-2200 (fax),
ming.zuo@ualberta.ca (e-mail), <http://www.mece.ualberta.ca/staff/zuo/> (WWW).

Reliability is a key performance measure of engineering systems. It measures the ability of a system to perform its intended functions for a specified period of time under specified operating conditions. This course aims to provide students with reliability analysis tools and techniques for designing and operating systems at high reliability levels. There has been a higher and higher requirement on the reliability of consumer devices such as automobiles, computers, and televisions as well as industrial systems such as telephone and computer networks, chemical refineries, and power generation and distribution networks. A solid background in reliability engineering is valuable for all engineers preparing to go into the real world of designing and/or operating various engineering facilities. From this course, students will learn how to analyze data obtained from laboratories and the field and fit statistical distributions, compute system reliability based on component reliabilities, and ensure high system reliability through maintenance measures. They will also learn concepts and methods on designing reliability into devices or systems.

The materials to be covered are structured to build on the students' knowledge of probability. The covered topics include

- [Introduction to reliability engineering: concepts and applications](#)
- [Review of probability and statistical methods, Example 2.8;](#)
- [Reliability concepts](#)
- [Lifetime distributions](#)
- [Probability plotting techniques for failure data analysis](#)
- Component reliability design: [Limit state design](#), [Load-strength interference](#)
- [System reliability models and system reliability evaluation methods](#): reliability block diagram, [fault tree analysis](#), FMEA
- [System reliability design](#)
- Models for operation and maintenance of equipment: [Repairable system analysis](#)
- [Cases and software demo](#)

The cited examples include simple experiment, mechanical design, system design, electrical design, and chemical system operations.

Other Postings: [Statistical Tables](#); [Formula Sheet](#); [Plotting Papers](#); [Gamma Function Table](#); [Marks](#); [Midterm Solutions](#); [Practice Problems](#); [Sample Final Exam](#)

Homework: [HW#1 \(Solutions\)](#); [HW#2 \(Solutions\)](#); [HW#3 \(Solutions\)](#); [HW#4 \(Solutions\)](#); [HW#5 \(Solutions\)](#)

Lectures: 17:00-20:00, Wednesday, Room ETLE2-002

Office Hours: Right after class or by appointment

TA: Mr. Mayank Pandey, 10am-12noon, **Tuesday**, Help Desk, 3rd Floor, Mech Eng Bldg, mayank@ualberta.ca

Grading Scheme: Assignments 25%, Midterm 30%; Final 45%

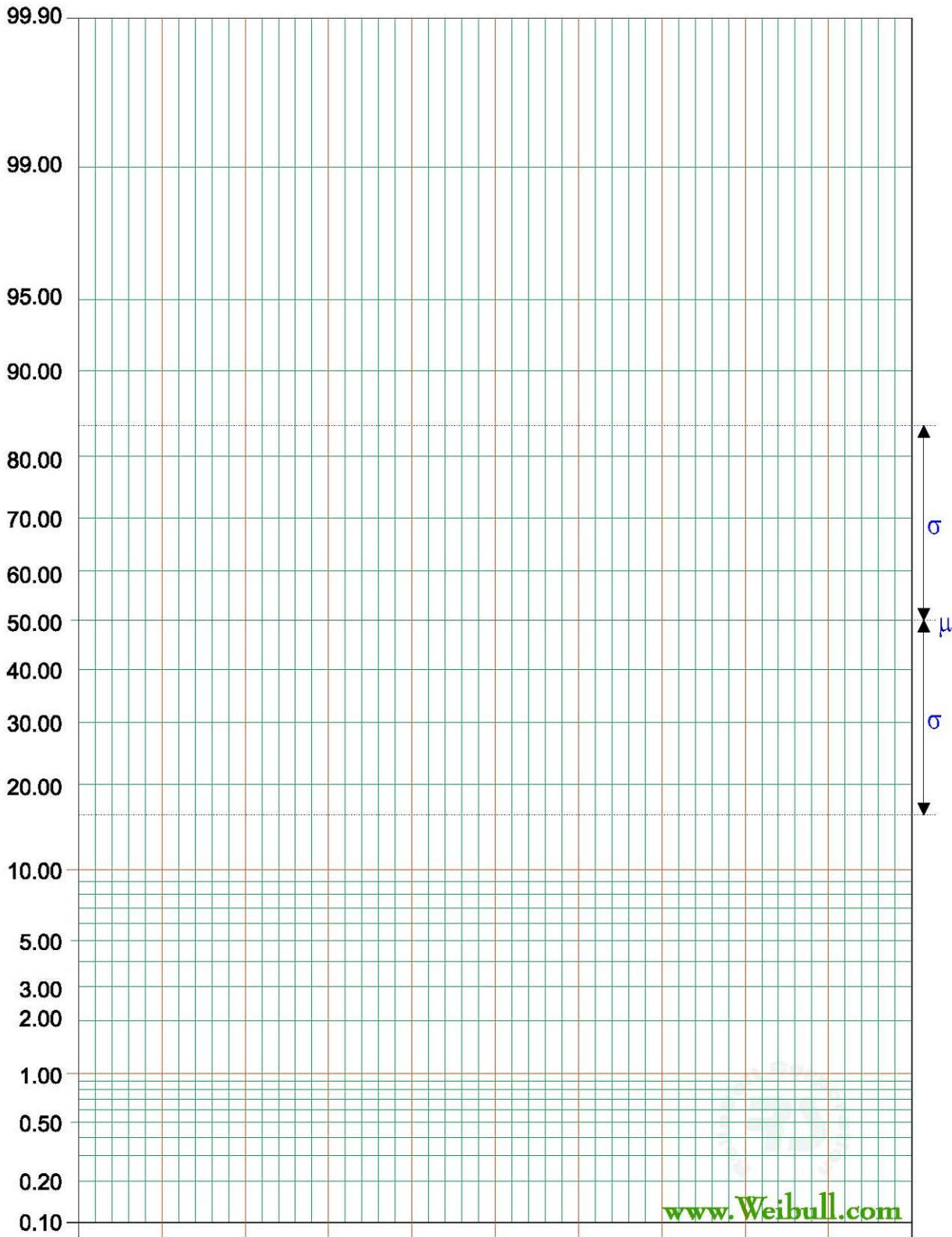
Reference Books:

- M. Modarres, M. Kaminskiy, and V. Krivtsov. Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide, New York: Marcel Dekker, 1999 or 2010.
- Reliability Engineering: Theory and Practice, Springer, 2007 (Electronic Access)
- Way Kuo and Ming J Zuo, Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications, John Wiley, 2003.
- Bryan Dodson and Dennis Nolan, Reliability Engineering Handbook, Quality Publishing, 2002
- C E Ebeling, An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering, Waveland Press, 1997.
- E A Elsayed, Reliability Engineering, Addison Wesley Longman, 1996.

附錄三 存活分析課程綱要

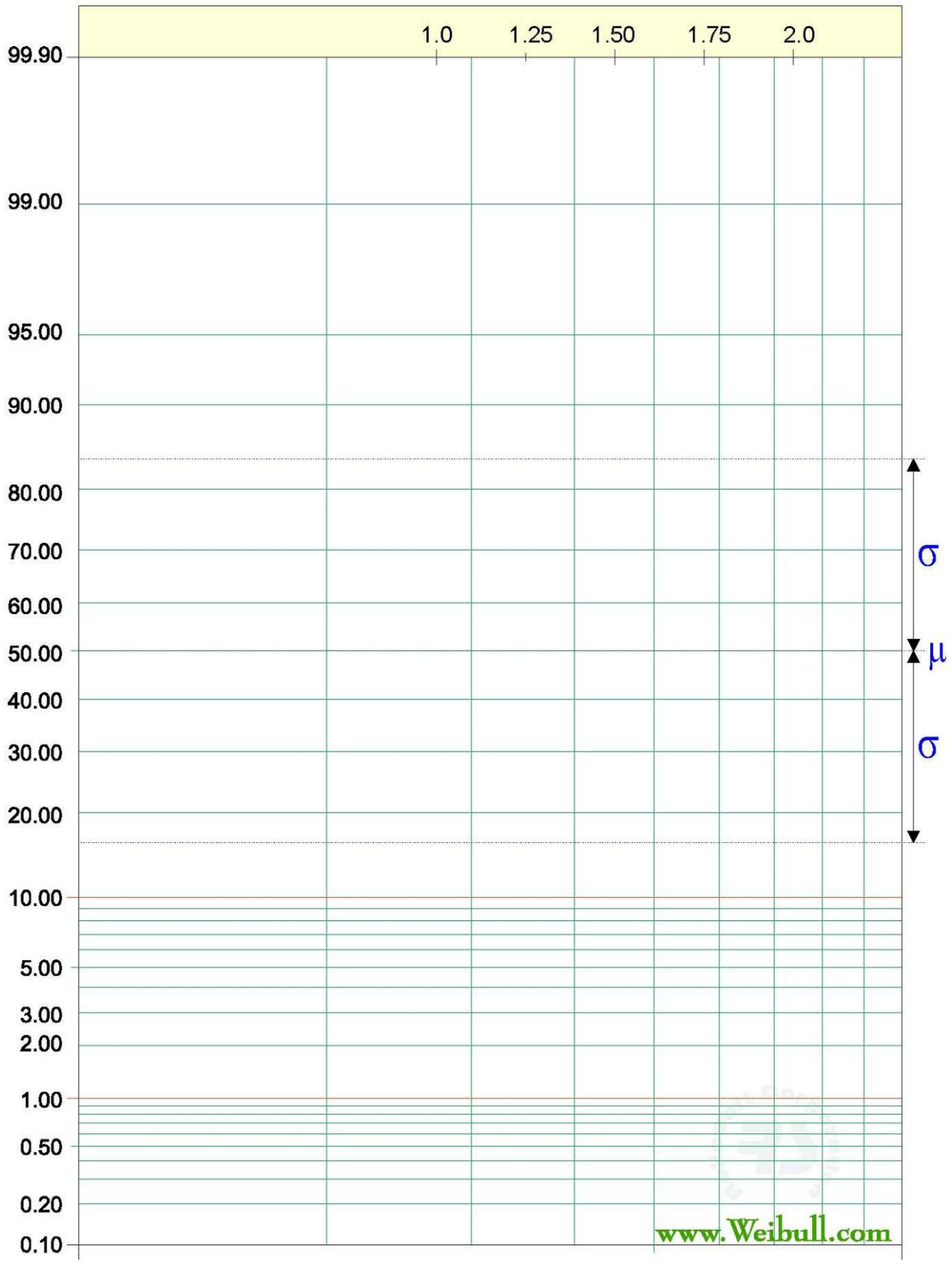
Course No.: STAT 532	
Course Title: Survival Analysis	Term: Fall
Instructor: Prof. Pengfei Li	
Syllabus:	
<p>This course will focus on the specialized issues related to the analysis of survival or time-to-event data. Tentative topics include:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diagrams for Time to Event Data • An Introduction to Censoring and Truncation • Likelihood Construction • Parametric Regression Models • Model Diagnostics • Nonparametric Methods for One Sample Problems • Semi-parametric Regression Models • Truncation and Delayed Entry • Multi-state Models and Competing Risks 	
Prerequisite: STAT 366 and STAT 378 or equivalent, OR my consent.	
Reference text: Statistical Models and Methods for Lifetime Data. (2nd Ed.) Lawless J. John Wiley & Sons, 2003.	
Grading (tentatively): Assignments 30%, Midterm 30%, Final 40%.	

附錄四 常態分布機率繪製圖紙



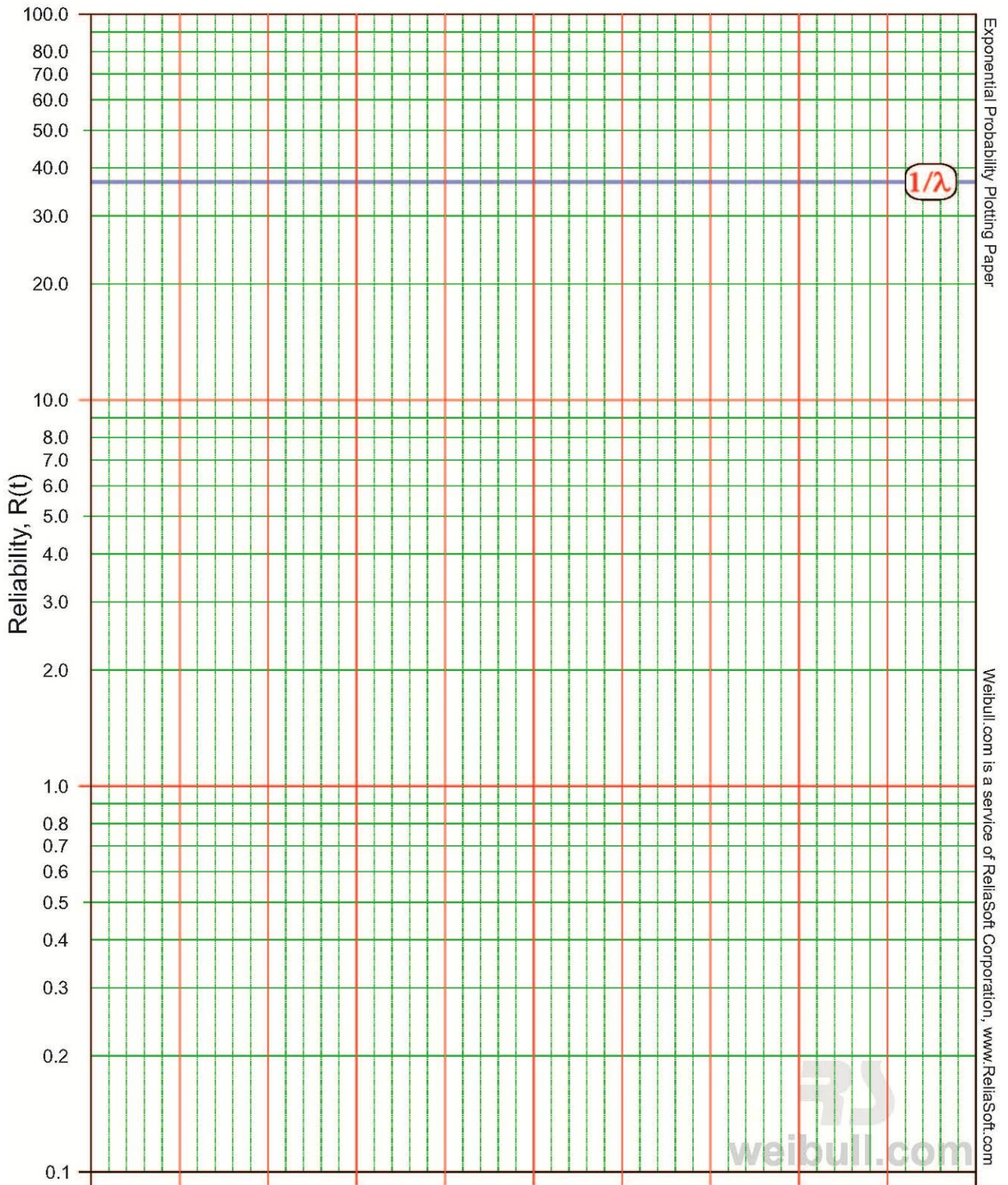
Normal Probability Plotting Paper Created Using Reliasoft's Weibull+ www.reliasoft.com 1-888-886-0410 ©1999 Reliasoft Corporation

附錄五 對數常態分布機率繪製圖紙



1 Cycle Lognormal Probability Plotting Paper Created Using ReliaSoft's Weibull++ www.ReliaSoft.com 1-888-886-0410 ©1999 ReliaSoft Corporation

附錄六 指數分布機率繪製圖紙



附錄七 韋柏分布機率繪製圖紙

