

國立成功大學
機械工程學系
碩士論文

V 型傳動皮帶之疲勞試驗與應力分析
Fatigue Test and Stress Analysis of V-Belts



研究生：朱恩毅
指導教授：黃金洵

中華民國九十六年六月

國立成功大學
碩士論文

V 型傳動皮帶之疲勞試驗與應力分析
Fatigue Test and Stress Analysis of V-Belts

研究生：朱恩毅

本論文業經審查及口試合格特此證明
論文考試委員

黃金細 黃才炯 陳永豪

指導教授：黃金細

系(所)主管：張鈞福

中華民國九十六年六月二十八日

摘要

皮帶與鏈條是目前常用的撓性傳動元件，其中皮帶可以傳遞較高轉速且運轉時產生的噪音相當微小，適合用於汽機車及工業輸送裝置。撓性機構中，傳動皮帶與皮帶輪組成皮帶傳動系統，由馬達帶動主動輪藉著皮帶與皮帶輪間的摩擦力來傳動從動輪，而傳遞動力。一般工業上設計皮帶時，必須先決定馬力、轉速、皮帶輪直徑大小之後，再由傳動帶使用技術手冊中的皮帶馬力轉速規範圖表來決定所使用的皮帶規格，以保持較佳的皮帶設計壽命及傳遞效率。

本論文將針對皮帶與皮帶輪間的運動分析做相關的探討，並根據疲勞理論分析皮帶內部應力與皮帶壽命。由馬達馬力、皮帶輪轉速、皮帶輪直徑及組成皮帶的橡膠特性，導出皮帶馬力與轉速關係的數學模式。接著設計出適合的皮帶疲勞試驗，得到疲勞壽命曲線(S-N Curve)，並由拉伸試驗得到皮帶機械特性，而建立出皮帶馬力轉速關係圖表，試驗中同時也可判別皮帶品質的差異性。最後，為了快速判斷皮帶運動時的機械性質，使用有限元素法分析運轉時皮帶的應力分佈。本論文將可建立適當的傳動皮帶規範圖表，並分析皮帶在運動中受力的分佈情況，模擬並預測皮帶破壞的情況。

Abstract

Belts and chains are the most popular flexible transmission components in practice. Belts can be used in high-speed applications, and they are quieter in operation. A belt power transmission system includes belts and pulleys, and torque is transmitted through friction force between the driving and driven pulleys. When designing industrial belts, we need to specify the power to be transmitted, speed of operation, and the diameters of pulleys. Then, according to the cross section selection chart and the drive selection table in belts design manual, we can choose suitable belts for the application. In order to achieve better belt life and transmission efficiency, accurate cross section selection chart and drive selection table are necessary. This thesis aims to create the cross section selection chart and the drive selection table based on experimental data and to conduct stress analysis of belts using finite element analysis.

In creating the cross section selection chart and the drive selection table, we begin with the relationship between stress and belt life from fatigue theory. Second, we derive the mathematic model of the cross section selection chart and the drive selection table by considering power requirements, operation speeds, diameters of pulleys, and the properties of rubber. Finally, we conduct belt fatigue tests to construct the S-N curve and obtain the rubber properties from tensile tests. This thesis then sets up the cross section selection chart and the drive selection table for belt selections. Furthermore, this thesis applies the finite element analysis method to simulate stress and strain distribution in belts for determining the quality of belts, and the results substantially reduce the time needed to forecast the failure of belts.

誌謝

首要感謝指導老師 黃教授金洵的細心指導，不論在課業、研究以及待人處事上都給予需多的叮嚀與照顧，雖然只有短短兩年的時間卻讓我受益良多；另外，在撰寫本文的過程中不厭其煩地逐字檢閱，在內容以及文字上都提供很多指正與建議，使得本文能夠順利完成，在此由衷感謝老師的指導。

感謝 陳老師家豪以及 黃老師才炯在觀念上以及內容的訂正，使得本文更加完備；感謝系上各教授在課程上的指導，讓我在機械相關知識上有更進一步的認識與了解。

感謝 何老師旭彬以及學姊褚靜如，在有限元素分析上給予的指導，讓我在有限元素的分析與應用上獲益匪淺。

感謝國科會以及三五橡膠股份有限公司 林董事長昇一、 郭總經理雅各、 林總經理特別助理豐義、 陳總經理助理衍甫在論文及研究上的協助與意見，在論文的研究資料以及設計上給予適當的幫助。

感謝實驗室中的學長武彰、世杰、柏村、大中以及同窗佺男、資正，還有學弟俊瑋、友南、乘龍在課業上的激勵以及生活上的幫助，謝謝大家讓實驗室充滿歡笑。另外也要感謝好友建良、冠琪與因中文系工讀而熟識的好友們，在與大家閒聊與談心中陪我度過許多的低潮及瓶頸。

最後要感謝的是家人們在我幾十年的求學過程給予的支持與鼓勵，感謝父母親工作的辛勞，感謝大姐、二姐的關心與打氣，藉此向大家敬上由衷的感謝。

朱恩毅 謹誌

中華民國九十六年六月於
國立成功大學機械工程研究所
機械設計組
黃金洵教授研究室

目錄

	頁次
摘要.....	I
Abstract.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	VIII
圖目錄.....	IX
符號說明.....	XI
 第一章 緒論	
1.1 前言.....	1
1.2 文獻回顧.....	2
1.3 研究動機與目的.....	2
1.4 本文架構.....	3
 第二章 基礎概念	
2.1 皮帶簡介.....	5
2.1.1 皮帶的組成與性質.....	5
2.1.2 皮帶的表示方法.....	7
2.2 傳動用皮帶.....	8
2.2.1 傳動皮帶動力的傳遞方式.....	8
2.3 皮帶機械特性.....	9

2.4 皮帶於傳動時的力量分析	9
2.4.1 緊邊張力	10
2.4.2 彎曲力	13
2.4.3 向心力	14
2.5 皮帶的失效情況	15
2.6 S-N曲線與疲勞破壞理論	16
2.6.1 S-N 曲線	16
2.6.2 Palmgren-Miner 法則預估疲勞壽命	17
2.6.3 S-N 曲線與疲勞壽命的關係	17
2.7 馬力與轉速關係	18
2.7.1 馬力與皮帶運轉時的作用力關係	18

第三章 V 型傳動皮帶疲勞分析與試驗

3.1 V 型皮帶模型建構與試驗	21
3.1.1 皮帶的標準化	21
3.1.2 V 型皮帶幾何尺寸	22
3.1.3 V 型傳動皮帶 SPA 模型	23
3.1.4 皮帶基本機械性質試驗	24
3.1.5 疲勞破壞試驗	27
3.2 V 型傳動帶張力分析	28
3.2.1 緊邊張力分析	29
3.2.2 彎曲力分析	29
3.2.3 向心力分析	30
3.2.4 峰力值分析	30
3.3 V 型傳動帶馬力與轉速分析	32

3.3.1 單條皮帶的馬力與轉速數學模式分析	32
3.3.2 馬力與轉速表建立.....	32
3.3.3 聯體皮帶的馬力與轉速數學模式分析	33
3.3.4 馬力與轉速圖建立.....	33
3.4 影響V型皮帶馬力轉速的因子.....	37
3.4.1 接觸因子.....	37
3.4.2 長度因子.....	38
3.4.3 功能因子.....	40
3.5 結論.....	42

第四章 V型傳動皮帶之有限元素應力分析

4.1 有限元素法與物理問題描述	44
4.1.1 大變形理論.....	44
4.1.2 傳動皮帶物理模型.....	45
4.2 皮帶與皮帶輪模型建構與模擬方法	46
4.2.1 三維V型皮帶傳動系統建模.....	47
4.2.2 材料性質設定.....	49
4.2.3 接觸行為模擬方法.....	50
4.2.4 皮帶動態模擬方法.....	52
4.3.. V型皮帶應力分析結果.....	53
4.3.1 三維靜態模擬結果.....	54
4.3.2 三維動態模擬結果.....	58
4.3.3 皮帶應力分析結果探討.....	60

第五章 結論與未來展望

參考文獻	63
附錄一 馬力轉速圖表製作軟體	65
附錄二 十噸拉力測試機規格	85
附錄三 皮帶耐久測試機規格	87



表目錄

	頁次
表 2-1 馬力與轉速關係表	19
表 3-1 V型皮帶規範與配合之皮帶輪[13]	23
表 3-2 皮帶截面SPA考量幾何位置	24
表 3-3 拉伸試驗數據	25
表 3-4 疲勞試驗數據	28
表 3-5 張力分析表	31
表 3-6 SPA傳動皮帶馬力轉速表	35
表 3-7 接觸角與對應的接觸因子	38
表 3-8 SPA-2000 皮帶長度與對應的長度因子 C_2	41
表 3-9 功能因子選擇表[12]	42
表 4-1 模擬皮帶傳動系統的度量單位	47
表 4-2 SPA-2000 與配合的皮帶輪相關尺寸	48
表 4-3 皮帶傳動系統的材料參數	50
表 4-4 V型皮帶應力分析案例分類	54

圖目錄

頁次

圖 2-1	時規皮帶	6
圖 2-2	皮帶的組成構造	7
圖 2-3	平皮帶與三角皮帶力平衡圖	9
圖 2-4	皮帶拉應力與伸長量曲線	10
圖 2-5	皮帶運轉時力分佈圖	10
圖 2-6	緊邊與鬆邊張力平衡圖	11
圖 2-7	(A) 三角皮帶於皮帶輪的受力 (B)三角皮帶的截面受力 ..	13
圖 2-8	皮帶等效彎曲力	14
圖 2-9	皮帶等效向心力	15
圖 2-10	S-N曲線	16
圖 2-11	馬力與轉速關係圖 [3]	20
圖 3-1	一般皮帶與皮帶輪裝置圖	22
圖 3-2	標準化皮帶裝置	22
圖 3-3	十噸拉力測試儀	26
圖 3-4	SPA拉伸試驗數據圖表	26
圖 3-5	皮帶耐久測試機	27
圖 3-6	S-N曲線	31
圖 3-7	SPA傳動皮帶馬力與轉速圖	34
圖 4-1	V型皮帶傳動系統物理模型簡化圖	46
圖 4-2	皮帶與皮帶輪建模前相關尺寸位置	48
圖 4-3	皮帶建模標示圖	48

圖 4-4	ANSYS中皮帶傳動系統模型	49
圖 4-5	SOLID185 元素	50
圖 4-6	接觸面模擬元素	51
圖 4-7	接觸面間元素設定	51
圖 4-8	網格化完成的皮帶傳動系統	52
圖 4-9	皮帶傳動系統動態模擬模型示意圖	53
圖 4-10	皮帶傳動系統未安裝與安裝完成位置 3D圖	55
圖 4-11	皮帶輪位移von Mises Stress變化圖	56
圖 4-12	安裝完成時最大von Mises Stress, SMX=97.856Mpa	57
圖 4-13	Case 0 皮帶靜態最大von Mises Stress分佈圖	57
圖 4-14	Case 1 皮帶動態von Mises Stress分佈圖	59
圖 4-15	Case 1 皮帶動態局部放大圖	59

符號說明

F_N	摩擦力
N	正向力
T_T	緊邊張力
T_B	彎曲力
T_C	向心力
T_S	鬆邊張力
β	V 型皮帶楔形角度
θ	皮帶與皮帶輪接觸角
μ	摩擦係數
P	馬力
V	皮帶線速度
M	彎曲力參數
h	皮帶纖維厚度
D	皮帶輪直徑
R	皮帶輪半徑
r	緊邊張力與鬆邊張力比值
ρ	密度
T_p	峰力值
z	皮帶條數
C_1	接觸因子
C_2	長度因子
C_3	功能因子

第一章 緒論

1.1 前言

傳動機構在動力傳輸或設計特定運動的要求下，發展出各類不同特性的機構型態，包含連桿機構、凸輪機構、齒輪機構、撓性傳動機構等。其中，撓性傳動機構的主要特性為其撓性元件本身可以任意彎曲以及解決傳動距離較遠的主動軸與從動軸的傳動問題，藉著撓性元件所承受的張力來傳遞動力。

皮帶與鏈條是目前常用的撓性傳動元件，其中皮帶由於可以傳遞較高轉速的運動，且其運轉時產生的噪音相當微小，常用於汽機車及工業傳動裝置。皮帶與皮帶輪組成的撓性傳動系統中，由馬達(Motor)轉動帶動連接的主動輪，藉著皮帶與皮帶輪間的摩擦力來傳動從動輪，而達成傳遞動力的目的。區別皮帶的類型主要是根據皮帶的截面形狀與構造，由不同的使用條件在製造上做改變。一般皮帶的截面形狀以四邊形(平皮帶)、等腰梯形(三角帶)，六角形為基礎，並根據需要在幾何上作不同的變化。

工業上設計皮帶時，必須先決定馬力、轉速、皮帶輪直徑範圍之後，再由傳動帶使用技術手冊中皮帶馬力轉速規範圖表來決定所使用的皮帶規格，以保持較佳的皮帶設計壽命及傳遞效率。因此良好的皮帶傳動設計，需要製作適合的皮帶馬力轉速規範圖表作為設計的依據。

由於馬力轉速圖表的製作，需要較冗長的時間與人力規劃，才能夠將皮帶的疲勞試驗相關數據完成。對於皮帶製造時改變材料配

置的品質，無法提供迅速的分析與預測，因此提出利用有限元素法的軟體，分析皮帶在運動中應力的分佈情況，快速檢驗皮帶在各種不同的受力狀況下的機械效能。

1.2 文獻回顧

有關皮帶傳動設計方面的書籍[10-12,16]雖然有相關介紹，但是介紹的內容大多節錄自國外皮帶大廠(如 Gates, Opti 等廠商)的皮帶使用設計手冊[3-8,13]中，對於皮帶設計規範的原理及其中的參數來源，礙於商業機密的問題，所敘述的內容沒有詳細的原理推導及相關試驗方式的輔助。而有關皮帶原料—橡膠的研究[1]則大部分指向基本性質的探討，而缺乏對於傳動皮帶的試驗及分析，所以在皮帶設計規範原理與試驗的參考文獻極為有限。Wallace[12]提出皮帶運轉所受到的三種張力分析，並將國外皮帶大廠型錄裡對於皮帶馬力轉速分析用皮帶機械性質參數來表示。參數的來源主要是由皮帶的基本性質，經過試驗的方式分析所得。

至於模擬皮帶傳動系統方面，過去有許多研究與論文探討有關皮帶的模擬模型，並對於皮帶的受力與分析利用試驗的方式驗證。其中褚靜如[15]提出一套關於平皮帶的二維建模與分析的流程，並在建模與選擇元素上提供相當簡單有效的建議。

1.3 研究動機與目的

皮帶在工業界的應用廣泛，但在分析皮帶的運動分析與試驗輔助的介紹無完整的相關介紹。文獻上的不完整使得在建立皮帶馬力轉速圖表有相當的困難度。本論文將針對皮帶與皮帶輪間的運動做

相關的分析，並建立完整的數學模式。分析數學模式時，利用疲勞理論[9]來做皮帶內部所受應力與壽命的分析，將張力與馬力轉速關係結合。導出皮帶設計規範圖表的原理之後，接著設計出適合的皮帶疲勞試驗，得到疲勞壽命曲線(S-N Curve)，並由試驗得到基本機械性質試驗，而建立出皮帶設計規範圖表的數值分析結果。

目前在國內，廠商雖已製造皮帶多年，但是對於皮帶的認知僅限於原料的化學特性，而忽略機械性質探討，尤其是疲勞破壞的預測而無法找出皮帶設計規範圖表的原理及試驗方式。在學術界方面，則對於皮帶原料—橡膠的機械性質探討頗為有限。本論文的研究成果除了建立皮帶規範圖表的原理及試驗外，還可在學術上提供皮帶疲勞破壞的系統化分析。本論文將可以適當的提升皮帶壽命預測的準確度，並建立快速分析產品品質的準則，以提升國內傳動皮帶產業的水準。

由於馬力轉速圖表的製作，需要較冗長的時間與人力規劃，才能夠將皮帶的疲勞試驗相關數據完成。對於之後皮帶改變材料配置上，無法提供迅速的分析與預測，本論文將針對皮帶疲勞試驗，在時間與準確度上的缺點，利用有限元素法 ANSYS 軟體[2]的使用，模擬並預測皮帶破壞的情況。

1.4 本文架構

本論文一共分為五章，第一章是緒論，介紹皮帶的發展與選擇皮帶的條件，並說明研究的動機及研究目的，以及介紹本論文的主要架構。第二章為基礎概念，介紹皮帶的相關理論基礎。第三章對 V 型皮帶的試驗與分析做詳細的介紹，且將數值分析的結果建立 V

型皮帶的馬力轉速圖表。第四章為 V 型傳動皮帶之應力分析，利用有限元素法分析皮帶傳動系統在運動中的應力分佈。第五章為結論，探討本論文的研究成果以及對未來相關研究的展望。



第二章 基礎概念

當兩軸間距離較遠不適合齒輪傳動，轉速較快不適合鏈條傳動時，這時候經常使用皮帶作為傳動的媒介，來達到傳遞動力的目的。製造上，皮帶則因應不同的運動需求，研發出各種不同特性的皮帶產品，其用途相當廣泛。

2.1 皮帶簡介

人造絲質或橡膠材質的皮帶，廣泛的應用於動力傳送或物質輸送。根據皮帶的截面形狀及用途大致分為：平皮帶，三角皮帶，時規皮帶等，目前工業界最常使用於傳動的皮帶為三角皮帶。此外也有用於輸送時的各種輸送皮帶。本論文內容以探討動力傳送皮帶為主，暫不討論傳送帶。皮帶的組成由橡膠，布層，纖維等材料複合而成，比起一般的鏈條和齒輪傳動機構的購置費較低，且調整性較高，可將多條皮帶並列，製造時以橡膠相互連結，其特點為當多條皮帶並列運轉時，可以提高動力的輸出，稱之為聯體皮帶。由於皮帶含有容易彎曲變形的性質，可用於較小的皮帶輪上運轉，因此單一驅動即可獲致較大的減速率。傳動皮帶適用於汽車，機車，以及各種動力傳動裝置中。

2.1.1 皮帶的組成與性質

皮帶的截面形狀與構造由不同的使用條件而改變，一般傳動皮帶的截面形狀以四邊形(平皮帶)、等腰梯形(三角帶)，六角形為基礎，並根據幾何需要而作不同的變化。但若是提到時規皮帶(Timing

belt)如圖 2-1 則為鏈條與皮帶的綜合，其形狀較偏向於鏈條，皮帶輪的選用也與鏈條類似。此外皮帶的種類尚有輸送帶，其外部構造的變化更多，造型也因為功用而有所不同。後兩者的組成主要也是由橡膠與其他纖維材料或添加物質複合而成，本論文內容暫不討論其範疇。

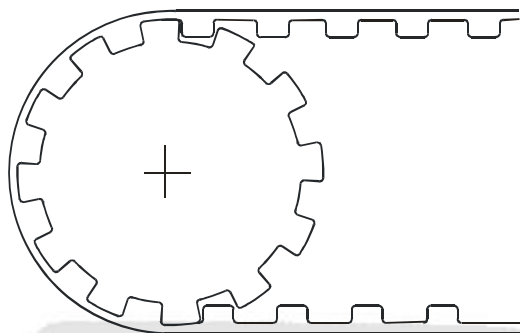


圖 2-1 時規皮帶

一般皮帶的組成構造如圖 2-2 所示。大致上可分為三部份：外層的外包布，中層的橡膠，還有內層的纖維心線。各部分的連結由適合的接著劑互相連接：

1. 外層(外包布)，由帆布包覆皮帶的裸露外表，尤其是上下層皮帶外部作用為減少異音的產生。外層的材料紋路設計有增加強度與摩擦力的考量。
2. 上下層橡膠，由橡膠及其他添加物合成，是皮帶的主要組成物質，皮帶的主要特性可以從橡膠做適當的修改，如耐熱，耐油，耐化學性質等。
3. 心線，由軸向抗拉性強的纖維材料組成。主要增加整體皮帶機械性質中的抗拉強度，使皮帶減少因為拉伸應力而造成的變形。

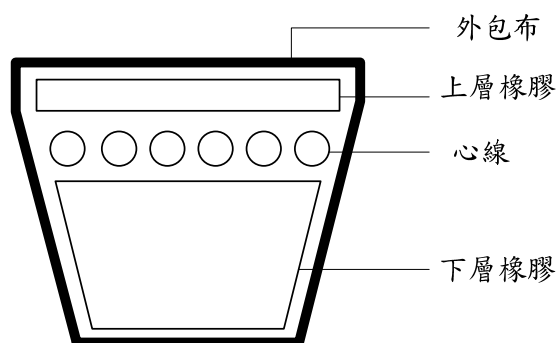


圖 2-2 皮帶的組成構造

2.1.2 皮帶的表示方法

一般皮帶在手冊上[3-8,13]標準的表示法是字母和數字的符號組合，順序如下：

1. 字母中包含以 Z~C 組合的前半部分，由 Z 到 C 其截面積漸大，如 Z，A，B，C，或以數字及英文字母組合標示的前半部份，如 3V，5V，8V。字母的組合包含了對於皮帶截面積的描述還有皮帶軸向外型的特性，並將各類皮帶的特性劃分
2. 以數字代表有效周長，標示後半部份。其代表意思為通過皮帶輪外徑的皮帶的總長度，大致為皮帶中心線的環繞整條皮帶的長度大小。

例如：切邊型高馬力用三角帶[13]，截面積大小 A，皮帶長度 2000mm 表示如下

$$\text{截面積} \quad \boxed{\text{SPA}} \quad \boxed{2000} \quad \text{有效周長}$$

2.2 傳動用皮帶

傳動皮帶一般用於引擎或機械機台上，所以尺寸的大小有所限制，有別於輸送帶強調輸送必須有相當大小的條件，因此輸送帶的尺寸相對來說比傳動皮帶大的多。傳動帶的種類相當多，不過仍然可以從皮帶截面的大小來界定傳動帶的規格。不同的截面積大小，配合不同的英文字母或數字來表示。傳動皮帶在應用的時候，常常需要先考慮裝配的尺寸，並根據用途決定皮帶所負荷的馬力還有轉速。從計算得到皮帶輪與皮帶的尺寸大小規範，再由使用者決定適當的皮帶輪與皮帶。

2.2.1 傳動皮帶動力的傳遞方式

傳動皮帶傳遞動力時，依靠的是皮帶與皮帶輪之間的摩擦力，主動輪施加扭力藉著皮帶與皮帶輪之間的摩擦力帶動皮帶的運轉，並由皮帶帶動從動輪運轉，達到傳遞動力的目的。摩擦力的大小是由正向力與摩擦係數決定，相同的摩擦力下，當皮帶與皮帶輪間的摩擦係數較大時，就可以將正向力的大小減少，如此在裝載皮帶的時候，皮帶輪施加於皮帶上的正向力可以減小，對皮帶輪的軸向負荷也相對小了許多，這樣能兼顧使用條件，又有助於增加皮帶輪的使用壽命。平皮帶與皮帶輪的接觸部分在於皮帶內面的底部，當增加摩擦力的時候，增加正向力的大小是必要的方式，但過大的正向力卻受限於皮帶輪軸所能承受的負載，所以後來發展出三角皮帶，將皮帶的正向力由底部轉移到側面，增大皮帶輪的正向力，減少皮帶施加於皮帶輪上的負荷，如圖 2-3 所示，如此可保持相同的摩擦力卻能夠降低皮帶輪的負荷。

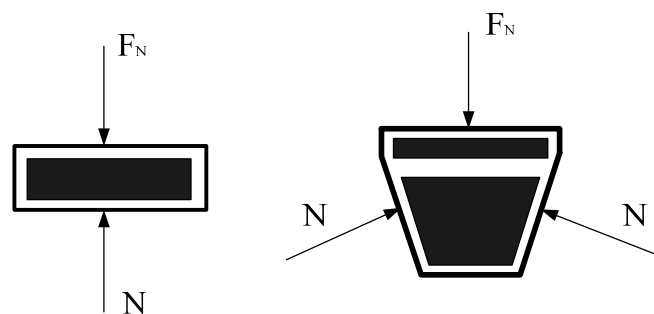


圖 2-3 平皮帶與三角皮帶力平衡圖

2.3 皮帶機械特性

皮帶為了能夠傳遞動力，必須藉著主動輪帶動從動輪，過程中皮帶需負荷傳動時產生的張力值，所以皮帶本身的抗拉強度(即能夠負荷的張力值大小)必須大於傳動時產生的張力。為了在實務上做較實際的考量，量測皮帶抗拉強度時，除了橡膠本身的拉伸試驗外，還需考量加入纖維之後皮帶整體的抗拉伸強度的表現，才能夠準確的試驗出皮帶實際的特性。這裡所指的皮帶特性為楊氏係數 E (Young's Modulus)，其關係式為 $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ ，應力與應變的關係大致如圖 2-4。皮帶的拉伸試驗在之後的皮帶馬力與轉速分析上，也提供了簡便的方法來簡化分析數學模式的過程。

2.4 皮帶於傳動時的力量分析

皮帶輪施加於皮帶上的作用力，可由三種力構成，如圖 2-5 所示，分別為緊邊張力、彎曲力、向心力[12,16]構成，各張力的介紹分述於下列各節：

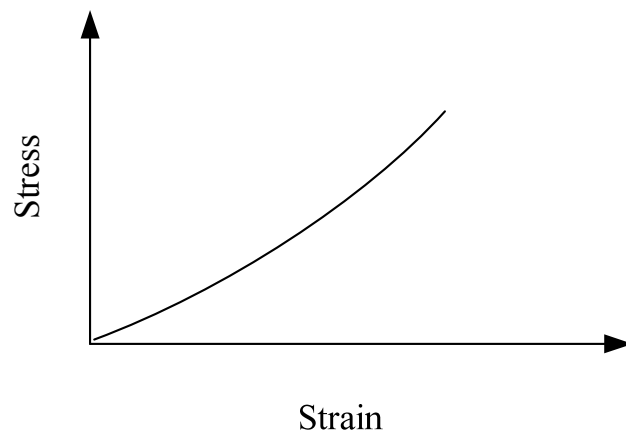


圖 2-4 皮帶拉應力與伸長量曲線

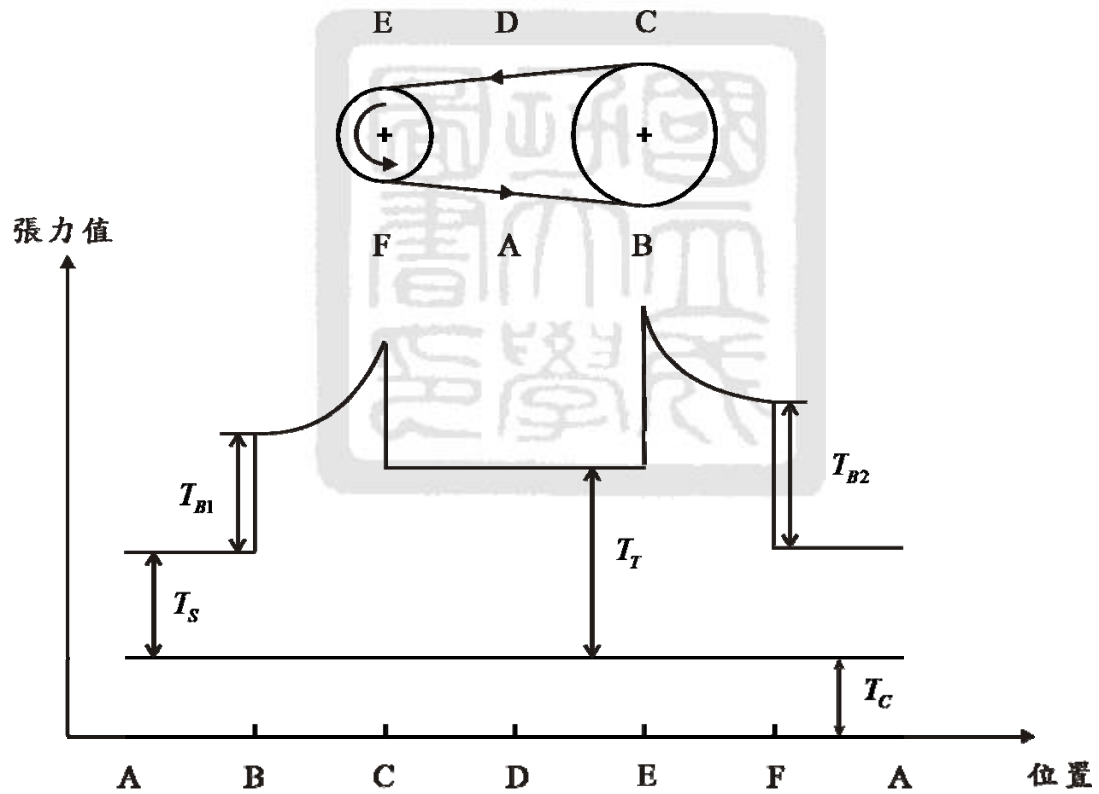


圖 2-5 皮帶運轉時力分佈圖

2.4.1 緊邊張力

主要由摩擦力產生。當馬達轉動主動輪並帶動從動輪轉動時，

產生的摩擦力構成旋轉所需的扭力(Torque)，此扭力使得皮帶輪兩側的皮帶相互間有力量差如圖 2-6 所示，此力量差與扭力間的關係為：

$$Torque = \Delta F \times \frac{D}{2} = (T_T - T_S) \times \frac{D}{2} \quad (2-1)$$

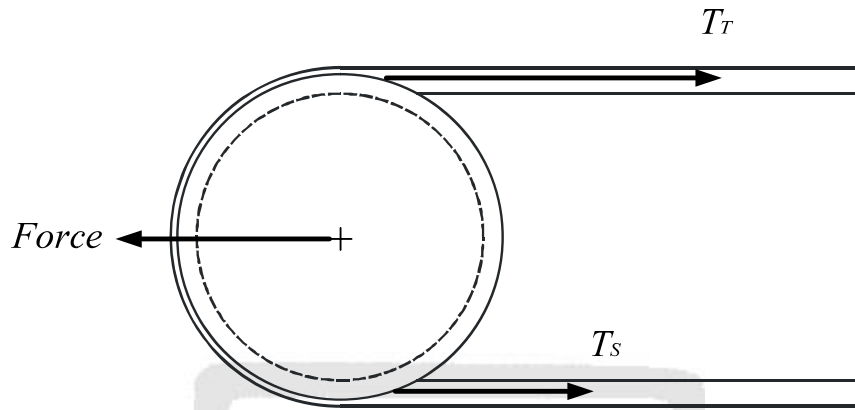


圖 2-6 緊邊與鬆邊張力平衡圖

將三角傳動帶依據摩擦力與正向力之間的力平衡關係圖，顯示於圖 2-7(以三角皮帶為例)。

令 $k = \csc \beta$

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ (T + \Delta T) \cos\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right) - T \cos\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right) - \mu k \Delta F_N &= 0 \end{aligned} \quad (2-2)$$

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ (T + \Delta T) \sin\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right) + T \sin\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right) - \Delta F_N &= 0 \end{aligned} \quad (2-3)$$

將式(2-2)(2-3)各除以 $\frac{\Delta\theta}{2}$ 得到

$$\frac{\Delta T}{\Delta\theta/2} \cos\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right) - \mu k \frac{\Delta F_N}{\Delta\theta/2} = 0 \quad (2-4)$$

$$(2T + \Delta T) \frac{\sin(\Delta\theta/2)}{\Delta\theta/2} - \frac{\Delta F_N}{\Delta\theta/2} = 0 \quad (2-5)$$

當 $\Delta\theta \rightarrow 0$

$$\Rightarrow \cos\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right) \rightarrow 1, \frac{\sin\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right)}{\Delta\theta/2} \rightarrow 1, \frac{\Delta F_N}{\Delta\theta/2} \rightarrow \frac{dF_N}{d\theta/2}, \frac{\Delta T}{\Delta\theta/2} \rightarrow \frac{dT}{d\theta/2}, \Delta T \rightarrow 0$$

代入(2-4)(2-5)得到

$$dT - \mu k dF_N = 0 \quad (2-6)$$

$$Td\theta - dF_N = 0 \quad (2-7)$$

合併(2-6)(2-7)得到

$$\frac{dT}{T} = \mu k d\theta \quad (2-8)$$

對(2-8)積分得到緊邊張力與鬆邊張力的比值大小：

$$\int_{T_s}^{T_r} \frac{dT}{T} = \mu k \int_0^\theta d\theta \Rightarrow R = \frac{T_r}{T_s} = e^{\mu k \theta} \quad (2-9)$$

其中 μ 為摩擦係數， k 為楔型係數 (Wedging factor)， $k \geq 1$ 。當 $k=1$ 時為平皮帶， $k>1$ 時為三角皮帶。

旋轉時產生的馬力值(P)在速度為 V 時與作用力(Force)的關係為：

$$Force = \frac{P}{V} \quad (2-10)$$

由圖 2-6 可知 Force 值與兩張力的關係為：

$$Force = T_r - T_s = \frac{P}{V} \quad (2-11)$$

將式(2-9)代入(2-11)可以得到緊邊張力值

$$T_r = \frac{P}{V(1 - e^{-k\mu\theta})} = \frac{P}{Vk_\theta}, \quad k_\theta = 1 - e^{-k\mu\theta} \quad (2-12)$$

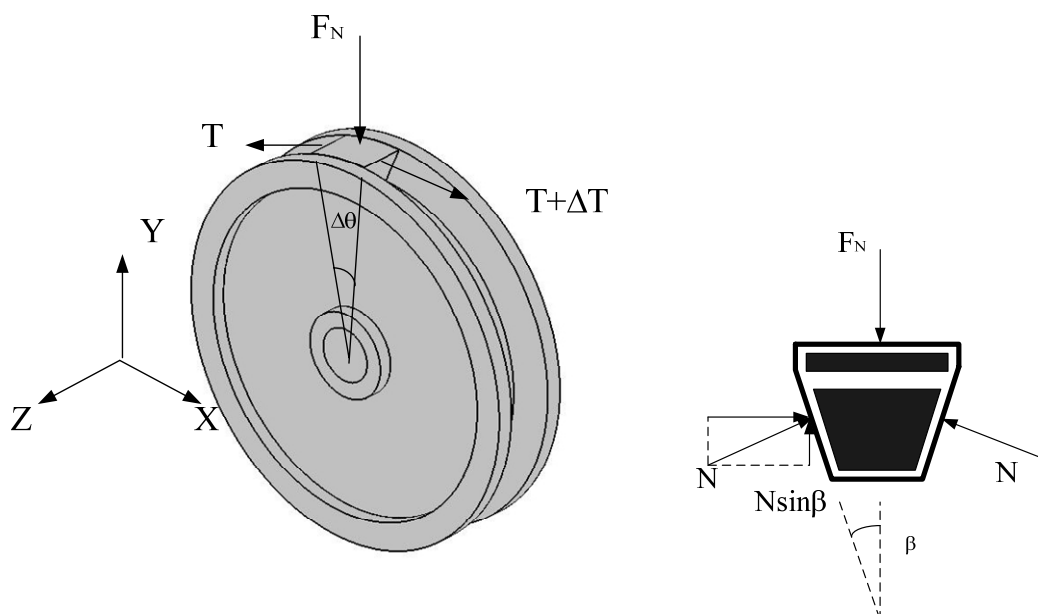


圖 2-7 (A) 三角皮帶於皮帶輪的受力 (B)三角皮帶的截面受力

2.4.2 彎曲力

皮帶為了要緊貼皮帶輪在轉彎處產生曲率的改變，皮帶在此彎曲處產生彎曲應力，將此彎曲應力等效對應在皮帶的軸向方向上，可得到作用於皮帶上的彎曲力大小，如圖 2-8。

由皮帶的彎曲應變量[16]：

$$\varepsilon_b \doteq \frac{h/2}{D/2 + h/2} \quad (2-13)$$

h 為上層橡膠與心線的距離，如圖 2-8

根據拉伸試驗計算得到的皮帶楊氏係數 E ，代入式(2-13)得到皮帶的彎曲應力值：

$$\sigma_b = E\varepsilon_b = E \frac{h/2}{D/2 + h/2} \quad (2-14)$$

當 $h \ll R$ 時

$$\sigma_b = E \frac{h}{D} = \frac{F_B}{area} \quad (2-15)$$

令 $M = Eh \times (area)$ ，則式(2-15)可化簡彎曲力關係式得到：

$$T_B = \frac{M}{D} \quad (2-16)$$

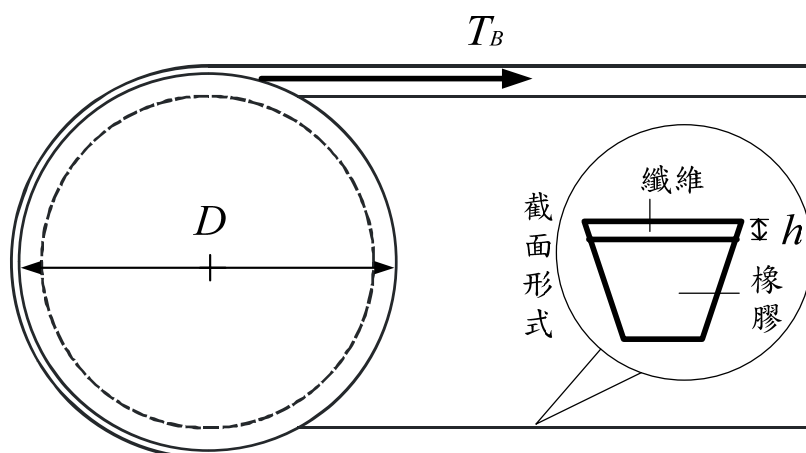


圖 2-8 皮帶等效彎曲力

2.4.3 向心力

皮帶在運轉時，因速度產生將皮帶往皮帶輪外擴張的力量，當速度增加時向心力的大小會急速增加，如圖 2-9，等效對應於皮帶上的拉伸方向張力其關係如下：

$$T_C = \frac{mV^2}{R} = \frac{\rho \times \theta \times R \times V^2}{R} = (\rho\theta)V^2 \quad (2-17)$$

ρ 為線密度， V 為速度， ω 為轉速， θ 為接觸角

從圖 2-5 可以知道，整條皮帶的運轉過程中，有兩處的受力最大，分別在緊邊皮帶與皮帶輪接觸的兩處，我們稱之為峰力值(T_p)，此峰力值對於皮帶的破壞大小將會產生一定的影響。其力量大小為緊邊張力，彎曲力，還有向心力的總和：

$$T_P = T_T + T_B + T_C \quad (2-18)$$

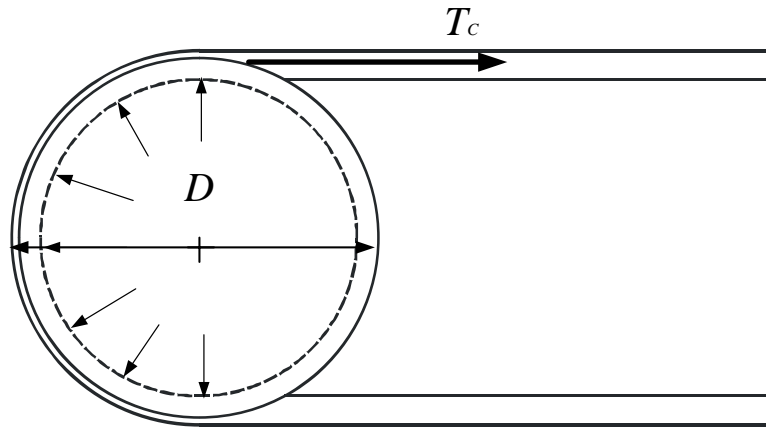


圖 2-9 皮帶等效向心力

2.5 皮帶的失效情況

皮帶與皮帶輪傳遞動力時，若是動力傳遞在理想狀態，則皮帶與皮帶輪之間不會有相對運動產生，但實際上當皮帶運行的時候，有兩種情況會產生皮帶與皮帶輪的相對運動：

1. 暫震(Creep)：由於負載於皮帶上的張力造成皮帶長度改變而產生些許轉速損失。一般皮帶只要運轉幾乎都會產生暫震，無法避免。不過對皮帶動力傳送產生的影響並不大。
2. 滑移(Slip)：皮帶運轉時，皮帶本身的拉力大小超過與皮帶輪之間的摩擦力大小，造成皮帶轉速跟不上皮帶輪，此時皮帶與皮帶輪滑移。通常產生的滑移相當明顯，並伴隨噪音的產生，同時也會減少皮帶與皮帶輪間的摩擦力，皮帶便無法有效的傳遞扭矩(Torque)。

皮帶產生滑移將無法有效的傳遞動力，造成滑移的原因很多，若是皮帶使用一段時間之後才形成，那可能的原因就是皮帶運轉時不斷受力造成的問題。皮帶裝配於皮帶輪上時，其壽命根據滑移的

產生來決定皮帶壽命，通常滑移情況嚴重時也會伴隨著噪音的出現，這可以當作判斷皮帶是否在壽命範圍內，作為皮帶置換的有效依據。同時也是本論文在判斷皮帶疲勞破壞的準則。

2.6 S-N 曲線與疲勞破壞理論

疲勞是破壞的一種累積過程，透過材料上破裂的生長，使材料被破壞。破壞的主要原因為當材料受到週期負荷時，會使破裂點的最大強度或降伏強度產生改變。使材料原本能承受的應力值逐漸降低，影響材料原本的使用壽命。

2.6.1 S-N 曲線

S-N 曲線[9]，又稱惠氏曲線(Wöhler curve)，是惠氏在 1858 年以系統化及量化的方法，來研究疲勞破壞時，用於展示基本的疲勞破壞資料。S-N 曲線代表的是應力(S)與循環次數(N)的關係圖。座標刻度以對數表示。一般的 S-N 曲線如圖 2-10 所示。曲線的數學關係式為：

$$A = S_f N^B, \text{ 其中 } A、B \text{ 與材料的性質有關} \quad (2-19)$$

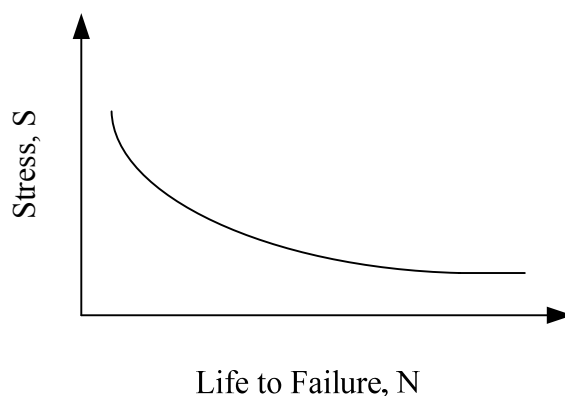


圖 2-10 S-N 曲線

2.6.2 Palmgren-Miner 法則預估疲勞壽命

Palmgren-Miner 法則[9]用來簡化數種不同的應力，在同週期的作用下，以線性的方式組合成相當的反覆應力。並由不同的疲勞週期壽命，互相對應到相當的疲勞壽命：

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad (2-20)$$

n_i = 作用的循環次數， N_i = 疲勞壽命

根據圖 2-5 所示，皮帶繞皮帶輪運動一次將同時遭受到兩次峰值力的作用，所以其作用的循環次數相同，即

$$n_1 = n_2 = N \quad (2-21)$$

N_i 為相對應的疲勞壽命， N 為總疲勞壽命。

將式(21)代入式(20)得到：

$$\sum_{i=1}^2 \frac{1}{N_i} = \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} = \frac{1}{N} \quad (2-22)$$

2.6.3 S-N 曲線與疲勞壽命的關係

由式(2-18)可化為

$$\frac{1}{N} = \left(\frac{S_f}{A} \right)^{\frac{1}{B}}, \text{ 其中 } S_f = \frac{\sum T_{Pi}}{\text{area}} \quad (2-23)$$

$\sum T_{Pi}$ 為多種張力的總和，area 為有效斷面積，再令

$F = A \times \text{area}$ ， $m = \frac{1}{B}$ 代入(2-23)得到：

$$\frac{1}{N} = \left(\frac{\sum T_{Pi}}{F} \right)^m \quad (2-24)$$

由式(2-22)與式(2-24)可得到：

$$(\sum T_{Pi})^m = F^m \left(\frac{1}{N} \right) = F^m \left(\sum_{i=1}^2 \frac{1}{N_i} \right) \quad (2-25)$$

2.7 馬力與轉速關係

馬力與轉速是選擇傳動皮帶時，首先決定的參數。選定作用於傳動的馬達之後，馬力與轉速值也隨之確定。本論文利用力的分析與疲勞理論，建立馬力與轉速的數學模型，再從馬力與轉速的數學模型中各個參數的變化，建立相關的馬力與轉速圖表，作為選擇皮帶的參考依據。

2.7.1 馬力與皮帶運轉時的作用力關係

製造皮帶時須考量馬達的馬力作用在皮帶上的作用力關係，2.4節將各個作用力的數學模式建立之後，根據這些關係就可以找出馬力、轉速及其他參數間的數學關係。

馬力與作用力的關係由式(2-5)(2-9)(2-10)(2-11)可得

$$T_p = T_T + T_B + T_C = \frac{P}{zk_\theta V} + \frac{M}{D} + \rho\theta V^2 \quad (2-26)$$

z 表皮帶數目

由式(2-19)以及 $\sum T_{Pi} = T_{p1} + T_{p2}$ ，又 $T_{p1} = T_{p2} = T_p$ ，化簡之後得到：

$$\sum_{i=1}^2 \left(\frac{P_\theta}{zk_\theta V} + \frac{M}{D_i} + \rho\theta V^2 \right)^m = F^m \left(\frac{1}{N} \right) \quad (2-27)$$

令 $\theta = \pi$ 得

$$P_\pi = zk_\pi V \left[F \left(\frac{1}{2N} \right)^{1/m} - \frac{M}{D} - \rho\pi V^2 \right] \quad (2-28)$$

再將皮帶速度 $V = \frac{\omega D}{2}$ 帶入得到馬力與轉速的關係式：

$$P_{\pi} = zk_{\pi}(\omega \frac{D}{2})[F(\frac{1}{2N})^{1/m} - \frac{M}{D} - \rho\pi(\omega \frac{D}{2})^2] \quad (2-29)$$

由式(2-25)及(2-27)可得

$$P_{\pi} = zk_{\pi}(\omega \frac{D}{2})[T_p - \frac{M}{D} - \rho\pi(\omega \frac{D}{2})^2] \quad (2-30)$$

式(2-30)有五個未知數為： z ， T_p ， P_{π} ， D ， ω

只要從試驗量測得到峰力值 T_p ，就可以代入將未知數的數目減少到四個： z ， P_{π} ， D ， ω ，馬力與轉速和皮帶輪直徑的關係就可以從式(2-23)建立，並製作出如圖 2-11 的馬力與轉速關係圖與如表 2-1 的馬力與轉速關係表。

表 2-1 馬力與轉速關係表

Power	D(mm)						
(w)	90	100	112	118	125	132	140
ω (rpm)							
100	654.748	766.543	900.695	967.771	1046.02	1124.28	1213.71
200	1309.4	1532.95	1801.2	1935.32	2091.78	2248.24	2427.04
300	1963.85	2299.08	2701.32	2902.42	3137.01	3371.58	3639.63
400	2618	3064.81	3600.87	3868.85	4181.44	4493.98	4851.1
500	3271.76	3830	4499.66	4834.39	5224.81	5615.13	6061.08
600	3925.02	4594.5	5397.49	5798.81	6266.85	6734.72	7269.19
700	4577.69	5358.19	6294.17	6761.89	7307.3	7852.43	8475.07
800	5229.66	6120.92	7189.52	7723.4	8345.89	8967.95	9678.33
900	5880.84	6882.57	8083.34	8683.13	9382.36	10081	10878.6
1000	6531.13	7643	8975.44	9640.85	10416.4	11191.2	12075.5
1100	7180.42	8402.06	9865.63	10596.3	11447.9	12298.3	13268.7
1200	7828.63	9159.63	10753.7	11549.4	12476.4	13401.9	14457.8
1300	8475.65	9915.57	11639.5	12499.7	13501.7	14501.8	15642.4

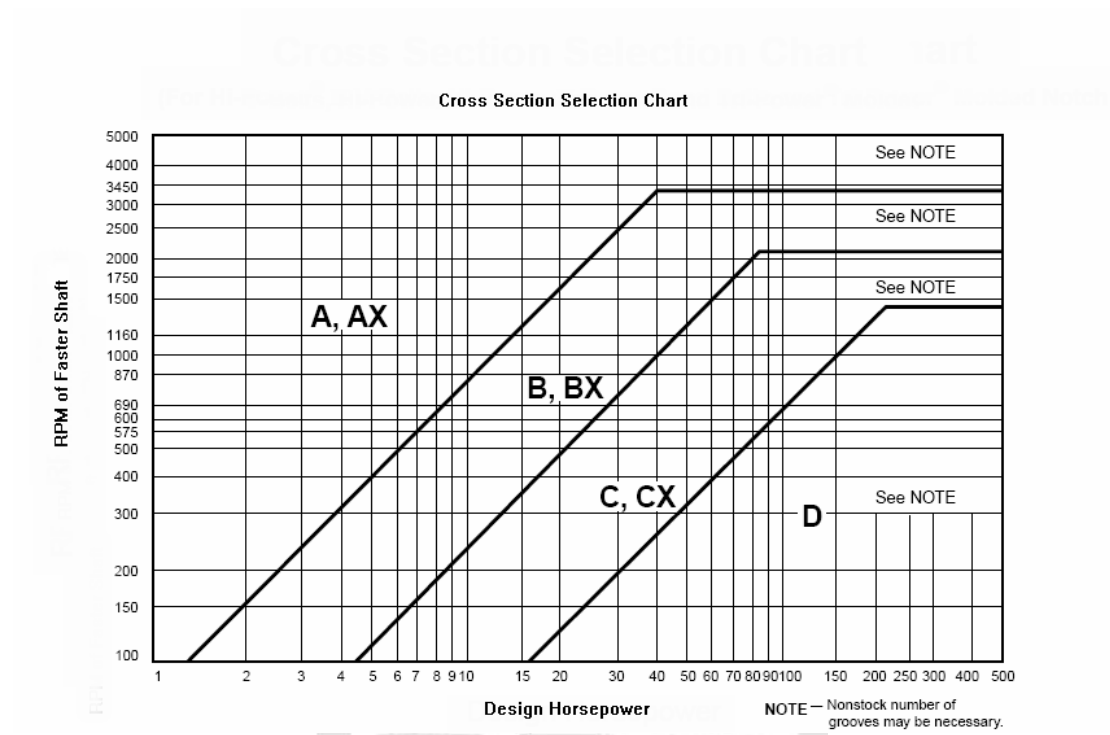


圖 2-11 馬力與轉速關係圖 [3]

第三章 V型傳動皮帶疲勞分析與試驗

皮帶的種類繁多，有傳動帶、輸送帶等，其中傳動皮帶的使用範圍廣泛，在工業上時常可見，本論文主要探討 V 型傳動皮帶的分析模型。本論文設計挑選常用傳動帶裡的 V 型皮帶來做分析，作為其他傳動皮帶模擬與分析的範本。並建立一整套有關傳動皮帶的規範圖表。

3.1 V 型皮帶模型建構與試驗

V 型傳動皮帶在實際運轉的過程中有著相當複雜的運動現象，因此在建構皮帶數學模型的時候，必須將皮帶運轉的情形簡化。本論文排除皮帶化學性質所造成的皮帶破壞情形，針對皮帶基本的機械性質作分析。除此之外還需將一般皮帶裝配的相關位置做幾何上的簡化，並根據皮帶選取的經驗法則，控制皮帶輪的大小與皮帶輪中心距的長度範圍，並決定皮帶的長度限制。再從皮帶運轉的過程分析其力量的分佈情況，加上皮帶基本性質的輔助，將皮帶轉速與馬力的關係利用圖表顯示。

3.1.1 皮帶的標準化

一般皮帶為了取得適當減速比，將皮帶與皮帶輪裝置如圖 3-1，此時皮帶輪的減速比 n 大小為：

$$n = \frac{D}{d} \quad (3-1)$$

為了讓皮帶的受力簡單化，不需要考慮減速比造成的力量不均，所

以設減速比 $n=1$ ，是為皮帶裝置的標準化。方法為在選擇皮帶輪的時候，將從動與被動皮帶輪的直徑大小設定一致如圖 3-2。

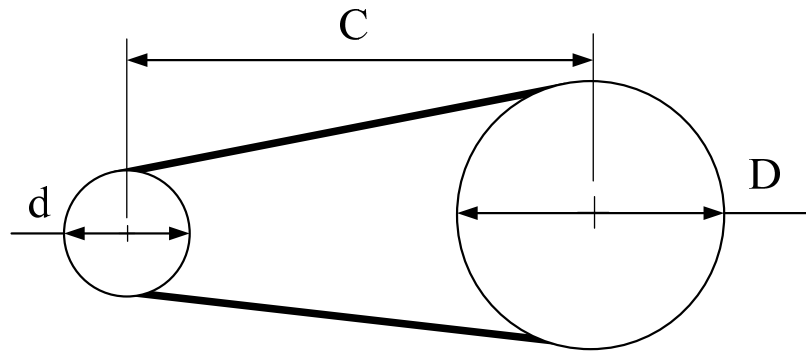


圖 3-1 一般皮帶與皮帶輪裝置圖

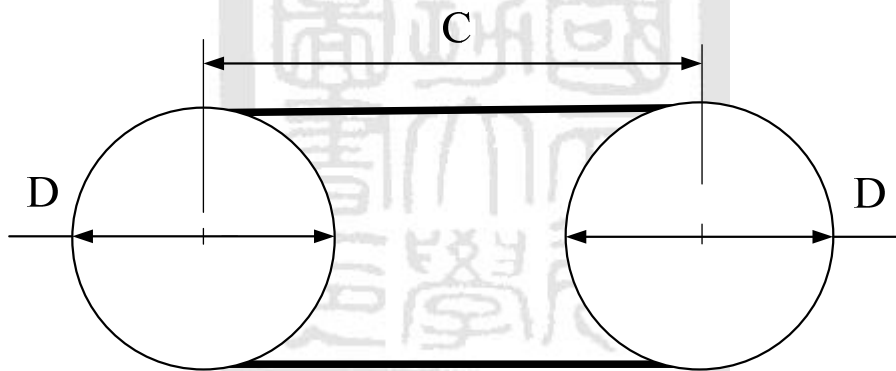


圖 3-2 標準化皮帶裝置

3.1.2 V型皮帶幾何尺寸

根據皮帶在工業上的使用情況，皮帶的幾何尺寸大小有著一套使用標準，本論文根據三五橡膠提供的皮帶與皮帶輪尺寸開始著手。V型皮帶的與皮帶輪配合關係如表 3-1 所示。

本論文選定 SPA 尺寸之後，設定皮帶輪與皮帶輪中心距的關係，根據經驗法則皮帶輪直徑 D 與皮帶輪中心距 C 的關係為：

$$1.4D < C < 4D \quad (3-2)$$

表 3-1 V 型皮帶規範與配合之皮帶輪[13]

皮帶規範	選 取 皮 帶 輪 由 最 小 至 最 大 排 列 (mm)
SPZ	56、60、63、67、71、75、80、85、90、95、100、112、125、140、160、180、200
SPA	90、100、112、118、125、132、140、150、160、180、200、224、250、280、315
SPB	112、125、140、160、190、200、212、224、236、250、280、315、355、400、450
SPC	224、250、280、300、315、335、355、375、400、450、500、560、630、710

並由圖 3-2 的幾何關係得到皮帶長度大小為：

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad (3-3)$$

將 $D = d$ 代入式(3-3)化簡得到：

$$L = 2C + \pi(D) \quad (3-4)$$

將解式(3-4)與(3-2)的不等式得到皮帶的長度範圍：

$$(2.8 + \pi)D < L < (8 + \pi)D \quad (3-5)$$

將 SPA 傳動皮帶的幾何尺寸限制關係以表 3-2 來表示。

皮帶運轉時的線速度限制大小約在 25~40m/s 之間，依照皮帶的使用條件可以做調整，SPA 我們選用線速度在 30m/s 的條件限制下，計算出皮帶輪的轉速限制。

$$V = \frac{\omega D}{2} \Rightarrow \omega = \frac{2V}{D} \quad (3-6)$$

3.1.3 V 型傳動皮帶 SPA 模型

根據表 3-2 的皮帶限制，本論文 V 型傳動皮帶—SPA 選用皮帶輪直徑 180mm，皮帶長度 2000mm，皮帶截面積為 $0.936 \times 10^{-4} \text{m}^2$ 。

將直徑與線速度的值代入(3-6)得

$$\omega = \frac{2V}{D} = \frac{2(30)}{0.18} \times \frac{60}{2\pi} = 3183rpm \quad (3-7)$$

根據上述條件建立 SPA 所屬的馬力與轉速規範圖表。

表 3-2 皮帶截面 SPA 考量幾何位置

皮帶截面 SPA 考量幾何位置(單位 mm)					
皮帶輪直徑 D	最小中心距 minc	最大中心距 maxc	最小皮帶長 minL	最大皮帶長 maxL	線速度 30m/s 時皮帶輪轉速(rpm)
90	126	360	534.735	1002.735	6366.39
100	140	400	594.15	1114.15	5729.75
112	156.8	448	665.448	1247.848	5115.85
118	165.2	472	701.097	1314.697	4855.72
125	175	500	742.6875	1392.6875	4583.80
132	184.8	528	784.278	1470.678	4340.72
140	196	560	831.81	1559.81	4092.68
150	210	600	891.225	1671.225	3819.83
160	224	640	950.64	1782.64	3581.09
180	252	720	1069.47	2005.47	3183.19
200	280	800	1188.3	2228.3	2864.87
224	313.6	896	1330.896	2495.696	2557.92
250	350	1000	1485.375	2785.375	2291.90
280	392	1120	1663.62	3119.62	2046.34
315	441	1260	1871.5725	3509.5725	1818.97

3.1.4 皮帶基本機械性質試驗

皮帶運轉時所產生的張力值與皮帶的基本機械性質有關，其中在皮帶楊氏係數的試驗設計與量測上，本論文使用三五所提供的「10 噸拉力測試儀」(附錄 1)作為量測楊氏係數的儀器。其構造裝

置如圖 3-3。

操作拉伸試驗的步驟如下：

1. 操作圖 3-3(B)控制台按鈕，將圖 3-3(A)所示儀器操縱至夾取試驗皮帶的準備位置。
2. 將測試的皮帶裝載於圖 3-3(A)，配合圖 3-3(B)操作儀器將皮帶固定於拉伸試驗儀，圖 3-3(B)控制台將記錄下未施加拉力時的皮帶位置作為之後計算皮帶伸長量的基準。
3. 固定皮帶之後，於圖 3-3(B)選取按鈕開始拉伸皮帶。
4. 於圖 3-3(C)中顯示伸長量與荷重的大小，並用圖表的形式顯示出變化的趨勢。

表 3-3 與圖 3-4 顯示 SPA-2000 的傳動皮帶拉力伸長曲線的關係。將已知皮帶截面積與荷重得到拉伸應力：

$$\sigma = \frac{584 \times 9.8}{0.0000936} = 61.15 \text{ Mpa} \quad (3-8)$$

將(3-8)與應變量 $\varepsilon=0.1088$ 代入 $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ 得到

$$E = \frac{61.15}{0.1088} = 562 \text{ MPa} \quad (3-9)$$

表 3-3 拉伸試驗數據

	最大荷重	最大伸長	最大應變
檔案名稱	Kgf	mm	%
1. SPA2000-1	591	22.31	11.15
2. SPA2000-7	570	20.33	10.17
3. SPA2000-8	592	22.65	11.33
平均	584	21.76	10.88



(A) 拉伸機台本體



(B) 拉力測試控制台



(C) 電腦數據顯示

圖 3-3 十噸拉力測試儀

SPA-2000三角帶拉力_伸長曲線報告

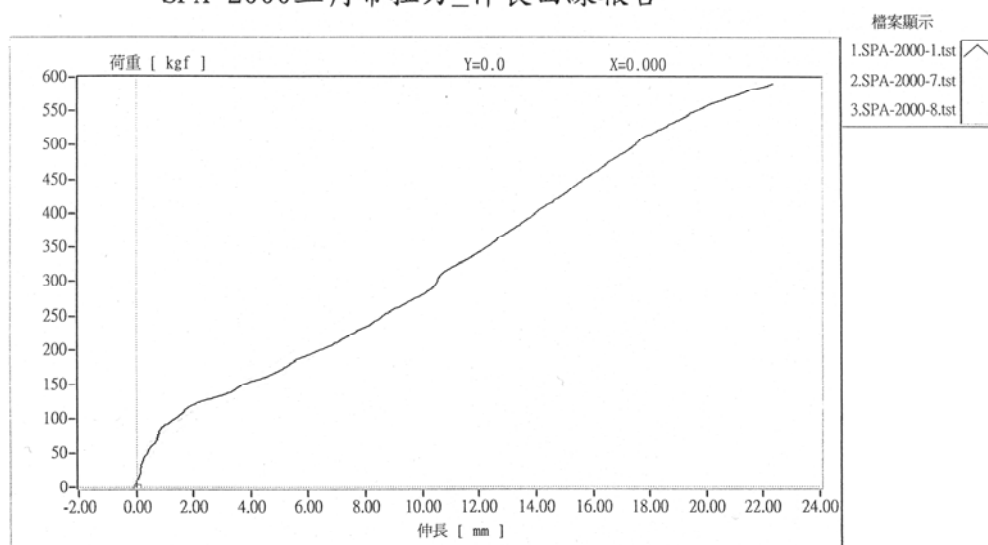


圖 3-4 SPA 拉伸試驗數據圖表

3.1.5 疲勞破壞試驗

由 2.6 節可知皮帶在運轉的時候將遭遇疲勞破壞，週期性的應力值影響了皮帶的強度。本論文使用三五提供的皮帶耐久測試機，提供傳動皮帶運轉時週期性負荷的來源。



(A) 設定負荷裝置



(B) 皮帶與皮帶輪設置裝置

圖 3-5 皮帶耐久測試機

疲勞破壞試驗的步驟如下：

1. 將負載加於耐久機荷重端，如圖 3-5(A)，並紀錄負載的重量大小。之後以固定轉速施加於皮帶輪。

2. 觀測在負載作用下的 2m 皮帶，以每三小時區間做觀測，當皮帶產生噪音或者崩裂，或是在累積時間超過七天之後，即可以停止耐久機，並紀錄下耐久試驗機測試的累積時間。此為一條皮帶疲勞試驗完成。
3. 第二條皮帶裝法同第一條皮帶。但負載大小須減少，(減少一顆砝碼，或者減少 10% 的重量)。再記錄在此負載下的破壞時間。
4. 如上述作法，取兩種張力值大小，每種大約做到 4 條皮帶左右，再分別取張力值與時間的平均值。如此可得到 2 種不同張力及 2 種時間。

SPA 選擇以轉速 3183rpm，荷重可以自由選擇，本論文試驗設計從荷重 200kg 開始作疲勞試驗，重覆此負荷作 4 次試驗，並紀錄下時間。第二次試驗減少 20Kg 左右，同樣作 4 次試驗，紀錄破壞時間。表 3-4 為疲勞試驗的相關數據。

表 3-4 疲勞試驗數據

總荷重(Kg)	Time(hr)
200	82
180	150

3.2 V 型傳動帶張力分析

2.4 節提到皮帶運轉時的皮帶所受張力最大處稱為峰力值，分別由緊邊張力、彎曲力、向心力組成。由於皮帶運轉時的動態張力測量難度頗高，所以我們將個別分析此三大張力，找出疲勞耐久限的峰力值，並由基本的機械性質試驗建構 V 型傳動皮帶的三大張力，並進行數值模擬。

3.2.1 緊邊張力分析

由式(2-9)中可以得到張力比為：

$$r = \frac{T_T}{T_S} = e^{\mu k \theta} \quad (3-10)$$

其中 $k = \csc \beta$ ，皮帶接觸皮帶輪的角度 θ 為 180 度，摩擦係數 $\mu = 1/6$

， $\beta = 20^\circ$ 代入式(3-10)得

$$r = \frac{T_T}{T_S} = e^{(1/6) \csc(20^\circ)(180^\circ)} = 4.62 \quad (3-11)$$

從圖 2-6 力平衡關係得

$$Force = T_T + T_S = T_T \left(\frac{r+1}{r} \right) \quad (3-12)$$

根據疲勞試驗數據荷重 200Kg 與式(3-11)代入(3-12)得

$$\begin{aligned} T_T &= Force \left(\frac{r}{r+1} \right) \\ &= 200 \times 9.8 \left(\frac{4.62}{4.62+1} \right) = 1611.25 \text{ (N)} \end{aligned} \quad (3-13)$$

荷重 180Kg 與式(3-11)代入(3-12)得

$$T_T = 1451.03 \text{ (N)} \quad (3-14)$$

3.2.2 彎曲力分析

由 2.4 節式(2-16)可知

$$T_B = \frac{M}{D}, \quad M = Eh \times (area) \quad (3-15)$$

所以要分析彎曲力的大小，必須先測量得到皮帶的楊氏係數 E ， h 值以及皮帶的截面積 $area$ 。從 3.1 節拉伸試驗可得楊氏係數 E

的大小為 $E=584.48\text{MPa}$ 。皮帶實際測量得到 $h=0.001\text{m}$ ， $area=0.0000936\text{m}^2$ 。將值代入(3-15)得到

$$M = E \times h \times area = 584.48\text{Mpa} \times 0.001\text{m} \times 0.0000936\text{m}^2 = 52.6\text{Nm}$$

$$T_B = E \frac{h}{D} \times area = \frac{M}{D} = \frac{52.6}{0.18} = 292.22(\text{N}) \quad (3-16)$$

3.2.3 向心力分析

由 2.4 節(2-17)式可知

$$T_C = \frac{mV^2}{R} = \frac{\rho \times \theta \times R \times V^2}{R} = (\rho\theta)V^2 \quad (3-17)$$

將 SPA 皮帶的 $\rho=0.1237\text{Kg/m}$ ， $\theta=\pi$ ， $\omega=3183\text{rpm}$ ， $D=0.18\text{m}$ 代入式(3-14)得到向心力的數值分析結果

$$\begin{aligned} T_C &= (\rho\theta)V^2 = (\rho\theta)\left(\frac{\omega D}{2}\right)^2 \\ &= 0.1237 \times \pi \times \left(3183 \times \frac{2\pi}{60} \times 0.09\right)^2 = 349.754(\text{N}) \end{aligned} \quad (3-18)$$

3.2.4 峰力值分析

從表 3-4 疲勞試驗的數據與(3-13)(3-14)(3-16)(3-17)整理得到表 3-5，將兩個峰力值與對應的疲勞時間找出 S-N 曲線，再從 S-N 曲線的趨勢求得皮帶的疲勞耐久限，這裡我們取循環次數 10^8 次的應力值為耐久限，得到疲勞耐久張力值。將兩數據的峰力值與時間分別代入式(2-19)得到

$$A = \frac{2254.073}{0.936 \times 10^{-4}} \left(\frac{82 \times 60 \times 60}{(2/30)} \times 2 \right)^B \quad (3-19)$$

$$A = \frac{2092.847}{0.936 \times 10^{-4}} \left(\frac{150 \times 60 \times 60}{(2/30)} \times 2 \right)^B \quad (3-20)$$

解(3-19)(3-20)得

$$A = 1.72 \times 10^8, B = 0.122887 \quad (3-21)$$

將式(3-21)帶回式(2-19)可得 S-N 曲線的方程式：

$$1.72 \times 10^8 = S_f(N)^{0.122887} \quad (3-22)$$

其曲線的趨勢如圖 3-6，當 $N = 10^8$ 時，得到疲勞耐久限與疲勞耐久張力值：

$$S_f = 17.8 \text{ Mpa} \Rightarrow T_{pf} = 1673.39 \text{ (N)} \quad (3-23)$$

表 3-5 張力分析表

張力種類	數據一(82hr)	數據二(150hr)
荷重大小(Kg)	200	180
彎曲力(N)	292.2386	
向心力(N)	349.754	
緊邊張力(N)	1612.258	1451.032
峰力值(N)	2254.073	2092.847

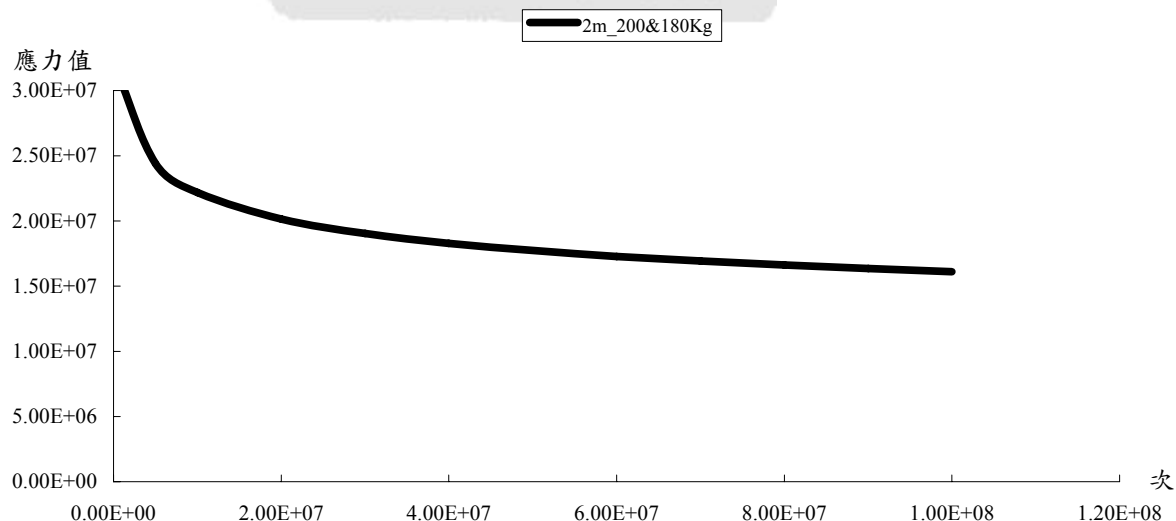


圖 3-6 S-N 曲線

3.3 V 型傳動帶馬力與轉速分析

疲勞試驗與基本試驗的分析結果，將馬力轉速分析公式各項參數的數值解找出，根據找出的參數代入公式之後，便可以得到馬力與轉速關係的方程。製作馬力轉速圖表時，還需要注意皮帶是單條或聯體皮帶，皮帶的條數會影響到馬力轉速圖的製作，而不會影響馬力轉速表，所以在數學模式的分析上要將單條皮帶與聯體皮帶分別。單條皮帶的數學模式製作馬力轉速表，聯體皮帶的數學模式則製作馬力轉速圖。

3.3.1 單條皮帶的馬力與轉速數學模式分析

考慮單條皮帶 $z=1$ ， $T_p = T_{pf}$ 代入式(2-30)，得到張力與馬力轉速關係數學模式

$$P_{\pi} = k_{\pi}(\omega \frac{D}{2})[T_{pf} - \frac{M}{D} - \rho\pi(\omega \frac{D}{2})^2] \quad (3-24)$$

式(3-24)的參數有 P_{π} ， k_{π} ， ω ， D ， M ， ρ ， T_{pf} ：

其中有四個參數已知： k_{π} ， M ， ρ ， T_{pf} （經過計算及試驗得知）。

有三個參數未知： P_{π} ， ω ， D （主要參數）。

將已知的參數 $k_{\pi}=1.276$ ， $M=52.6$ ， $\rho=0.1237$ ， $T_{pf}=1673.39$ 代

入式(3-24)得到三個未知數的馬力轉速方程：

$$P_{\pi} = 1.276(\omega \frac{D}{2})[1673.39 - \frac{52.6}{D} - (0.1237)\pi(\omega \frac{D}{2})^2] \quad (3-25)$$

3.3.2 馬力與轉速表建立

單條皮帶的分析主要建立皮帶馬力轉速表，而皮帶馬力轉速圖

的建立需要聯體皮帶所並列的皮帶數目參數，將於之後的第 3.3.3 節討論。首先將表 3-1 提供的 SPA 皮帶輪直徑大小分別代入式 (3-25)，可分別得到皮帶輪在當時直徑大小時，馬力與轉速的數值結果。表 3-6 列出所有 SPA 皮帶輪直徑時馬力與轉速的相關數值結果。

3.3.3 聯體皮帶的馬力與轉速數學模式分析

考慮聯體皮帶將 $T_p = T_{pf}$ 代入式(2-30)，得到張力與馬力轉速關係數學模式

$$P_{\pi} = zk_{\pi}(\omega \frac{D}{2})[T_{pf} - \frac{M}{D} - \rho\pi(\omega \frac{D}{2})^2] \quad (3-26)$$

式(3-26)的參數有 z ， P_{π} ， k_{π} ， ω ， D ， M ， ρ ， T_{pf} ：

其中有四個參數已知： k_{π} ， M ， ρ ， T_{pf} （經過計算及試驗得知）。

有四個參數未知： z ， P_{π} ， ω ， D （主要參數）。

將已知的參數 $k_{\pi}=1.276$ ， $M=52.6$ ， $\rho=0.1237$ ， $T_{pf}=1673.39$ 代入式(3-26)得到四個未知數的馬力轉速方程：

$$P_{\pi} = 1.276(z)(\omega \frac{D}{2})[1673.39 - \frac{52.6}{D} - (0.1237)\pi(\omega \frac{D}{2})^2] \quad (3-27)$$

3.3.4 馬力與轉速圖建立

聯體皮帶的分析主要為劃分皮帶馬力與轉速圖的範圍區塊，並將同型號不同截面的區塊組合成一張馬力轉速圖。首先，決定所製造的聯體皮帶的其連體的條數範圍，以 V 型皮帶中的 SPA-2000 尺寸可做到 8 條皮帶合成一條聯體皮帶為例，將最小的皮帶輪直徑 $D=90mm$ ， $z=1$ 代入式(3-27)中，所得到的曲線作為 SPA 的左邊界。將最大的皮帶輪直徑 $D=315mm$ ， $z=8$ 代入式(3-27)中，所得到的

曲線作為 SPA 的右邊界，將數值結果整理之後以馬力值為 x 軸，轉速值為 y 軸，兩軸以對數表示，將馬力轉速圖繪製如圖 3-7。

圖 3-7 中所示曲線每一條代表配合不同的皮帶輪直徑所得到的馬力與轉速的變化曲線。皮帶輪的直徑範圍從 90~315mm，由左而右分別排列於圖 3-7 中，且每一條曲線線性部份的斜率幾乎相同，為互相平行的直線。

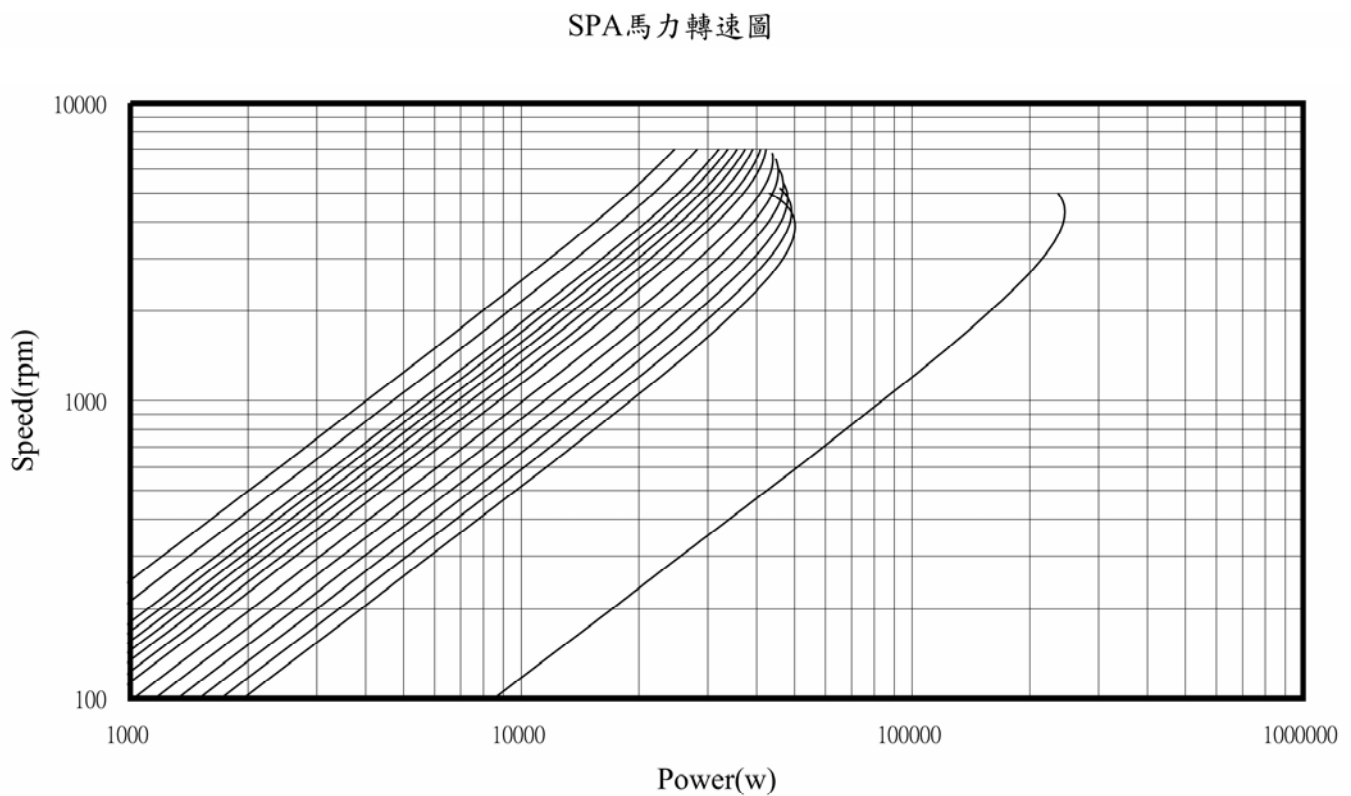


圖 3-7 SPA 傳動皮帶馬力與轉速圖

表 3-6 SPA 傳動皮帶馬力轉速表

三五馬力轉速表																SPA	資料數	15
ρ	0.1237	K	1.276	M	52.6029	Tension	1673.39											
Power	D(mm)																	
(w)	90	100	112	118	125	132	140	150	160	180	200	224	250	280	315			
ω(rpm)																		
100	654.748	766.543	900.695	967.771	1046.02	1124.28	1213.71	1325.5	1437.28	1660.84	1884.4	2152.65	2443.23	2778.49	3169.58			
200	1309.4	1532.95	1801.2	1935.32	2091.78	2248.24	2427.04	2650.53	2874	3320.89	3767.71	4303.76	4884.34	5554	6334.92			
300	1963.85	2299.08	2701.32	2902.42	3137.01	3371.58	3639.63	3974.65	4309.61	4979.36	5648.84	6451.83	7321.19	8323.53	9491.75			
400	2618	3064.81	3600.87	3868.85	4181.44	4493.98	4851.1	5297.39	5743.55	6635.44	7526.71	8595.3	9751.68	11084.1	12635.8			
500	3271.76	3830	4499.66	4834.39	5224.81	5615.13	6061.08	6618.3	7175.26	8288.36	9400.23	10732.7	12173.7	13832.8	15762.9			
600	3925.02	4594.5	5397.49	5798.81	6266.85	6734.72	7269.19	7936.91	8604.19	9937.31	11268.3	12862.4	14585	16566.5	18868.8			
700	4577.69	5358.19	6294.17	6761.89	7307.3	7852.43	8475.07	9252.77	10029.8	11581.5	13129.9	14983	16983.7	19282.3	21949.1			
800	5229.66	6120.92	7189.52	7723.4	8345.89	8967.95	9678.33	10565.4	11451.5	13220.1	14983.8	17092.8	19367.4	21977.2	24999.7			
900	5880.84	6882.57	8083.34	8683.13	9382.36	10081	10878.6	11874.4	12868.7	14852.4	16829.1	19190.5	21734.2	24648.3	28016.4			
1000	6531.13	7643	8975.44	9640.85	10416.4	11191.2	12075.5	13179.2	14280.9	16477.6	18664.5	21274.3	24081.8	27292.5	30994.7			
1100	7180.42	8402.06	9865.63	10596.3	11447.9	12298.3	13268.7	14479.5	15687.6	18094.9	20489.1	23343	26408.2	29906.8	33930.6			
1200	7828.63	9159.63	10753.7	11549.4	12476.4	13401.9	14457.8	15774.7	17088.1	19703.4	22301.7	25394.8	28711.2	32488.4	36819.8			
1300	8475.65	9915.57	11639.5	12499.7	13501.7	14501.8	15642.4	17064.4	18482	21302.4	24101.3	27428.2	30988.8	35034.1	39657.9			
1400	9121.38	10669.7	12522.8	13447.2	14523.5	15597.6	16822.2	18348.2	19868.6	22891.1	25886.7	29441.8	33238.7	37541	42440.8			
1500	9765.72	11422	13403.5	14391.5	15541.7	16689.1	17996.7	19625.5	21247.4	24468.7	27656.9	31434	35458.9	40006.1	45164.2			
1600	10408.6	12172.2	14281.2	15332.4	16555.8	17775.8	19165.7	20895.9	22617.8	26034.4	29410.8	33403.3	37647.2	42426.5	47823.9			
1700	11049.8	12920.3	15156	16269.8	17565.7	18857.6	20328.6	22159	23979.4	27587.4	31147.3	35348.2	39801.6	44799.1	50415.6			
1800	11689.4	13666	16027.4	17203.4	18571.1	19934	21485.3	23414.3	25331.5	29126.9	32865.3	37267	41919.8	47121	52935.1			
1900	12327.2	14409.3	16895.5	18133	19571.8	21004.8	22635.2	24661.4	26673.5	30652.2	34563.7	39158.4	43999.8	49389.2	55378.1			
2000	12963.1	15150	17759.9	19058.3	20567.3	22069.7	23778	25899.7	28005	32162.4	36241.5	41020.7	46039.5	51600.7	57740.3			
2100	13597.1	15888	18620.5	19979.2	21557.6	23128.3	24913.4	27128.8	29325.4	33656.7	37897.5	42852.5	48036.6	53752.5	60017.6			
2200	14228.9	16623.2	19477	20895.4	22542.3	24180.4	26040.9	28348.3	30634	35134.4	39530.6	44652.2	49989.2	55841.6	62205.6			
2300	14858.6	17355.3	20329.4	21806.6	23521.1	25225.5	27160.3	29557.7	31930.4	36594.7	41139.9	46418.3	51895	57865.1	64300.2			
2400	15486	18084.4	21177.4	22712.8	24493.9	26263.5	28271	30756.6	33214	38036.7	42724.1	48149.2	53751.9	59819.9	66297			
2500	16111	18810.1	22020.8	23613.5	25460.3	27294	29372.8	31944.5	34484.2	39459.7	44282.2	49843.5	55557.9	61703.1	68191.9			
2600	16733.6	19532.5	22859.4	24508.7	26420	28316.6	30465.3	33120.8	35740.5	40862.9	45813.2	51499.5	57310.8	63511.7	69980.5			
2700	17353.5	20251.3	23693.1	25398.1	27372.8	29331.2	31548.1	34285.3	36982.4	42245.4	47315.8	53115.8	59008.5	65242.7	71658.6			
2800	17970.8	20966.5	24521.6	26281.4	28318.5	30337.3	32620.8	35437.3	38209.2	43606.6	48789.1	54690.9	60648.7	66893.1	73222			

2900	18585.3	21677.8	25344.7	27158.5	29256.7	31334.6	33683	36576.6	39420.4	44945.5	50232	56223.2	62229.6	68460	74666.5
3000	19197	22385.2	26162.3	28029.1	30187.2	32322.9	34734.4	37702.5	40615.4	46261.5	51643.3	57711.2	63748.8	69940.3	75987.7
3100	19805.6	23088.5	26974.2	28893	31109.8	33301.7	35774.7	38814.6	41793.8	47553.7	53021.9	59153.4	65204.3	71331.1	77181.4
3200	20411.2	23787.7	27780.2	29750	32024.1	34270.9	36803.4	39912.5	42954.9	48821.3	54366.9	60548.1	66593.9	72629.4	78243.5
3300	21013.6	24482.4	28580	30599.8	32929.9	35230.1	37820.1	40995.8	44098.1	50063.5	55677.1	61894	67915.6	73832.2	79169.5
3400	21612.8	25172.7	29373.6	31442.3	33827	36179	38824.6	42063.9	45223	51279.5	56951.3	63189.5	69167.2	74936.5	79955.3
3500	22208.6	25858.3	30160.6	32277.1	34715	37117.2	39816.3	43116.4	46329	52468.6	58188.6	64433	70346.5	75939.3	80596.7
3600	22800.9	26539.2	30941	33104.2	35593.8	38044.5	40795	44152.8	47415.5	53630	59387.8	65623	71451.5	76837.7	81089.3
3700	23389.6	27215.2	31714.5	33923.2	36463	38960.6	41760.3	45172.7	48481.9	54762.8	60547.9	66758	72480.1	77628.6	81429
3800	23974.7	27886.2	32480.9	34734	37322.3	39865	42711.7	46175.7	49527.7	55866.3	61667.8	67836.5	73430	78309.2	81611.5
3900	24556	28552	33240.1	35536.2	38171.6	40757.6	43649	47161.2	50552.4	56939.6	62746.3	68857	74299.2	78876.3	81632.4
4000	25133.5	29212.5	33991.8	36329.8	39010.5	41638	44571.8	48128.8	51555.3	57982.1	63782.4	69817.8	75085.6	79327	81487.7
4100	25706.9	29867.6	34735.9	37114.4	39838.8	42505.9	45479.6	49078.1	52536	58992.8	64774.9	70717.5	75787	79658.4	81173
4200	26276.4	30517.1	35472.1	37889.8	40656.2	43361	46372.1	50008.5	53493.8	59971	65722.9	71554.6	76401.4	79867.4	80684.1
4300	26841.6	31160.9	36200.4	38655.9	41462.5	44202.9	47249	50919.7	54428.3	60915.9	66625.3	72327.5	76926.5	79951.1	80016.7
4400	27402.6	31798.8	36920.4	39412.4	42257.3	45031.4	48109.8	51811.1	55338.8	61826.7	67480.8	73034.7	77360.3	79906.4	
4500	27959.2	32430.8	37632	40159	43040.5	45846.1	48954.2	52682.4	56224.8	62702.6	68288.5	73674.7	77700.6	79730.5	
4600	28511.4	33056.6	38335	40895.6	43811.7	46646.8	49781.8	53533	57085.8	63542.9	69047.3	74245.9	77945.3	79420.2	
4700	29059	33676.2	39029.2	41621.9	44570.7	47433.1	50592.2	54362.5	57921.1	64346.7	69756	74746.8	78092.3		
4800	29602	34289.4	39714.5	42337.7	45317.2	48204.6	51385.2	55170.5	58730.3	65113.2	70413.6	75175.9	78139.5		
4900	30140.2	34896.1	40390.6	43042.8	46051	48961.2	52160.2	55956.4	59512.7	65841.7	71019	75531.7	78084.7		
5000	30673.5	35496.1	41057.3	43737	46771.8	49702.5	52916.9	56719.9	60267.9	66531.3	71571.2	75812.6			
5100	31201.9	36089.3	41714.5	44419.9	47479.2	50428.1	53655	57460.4	60995.2	67181.3	72068.9	76017.1			
5200	31725.3	36675.6	42361.9	45091.5	48173.2	51137.8	54374.1	58177.5	61694.1	67790.8	72511.2	76143.6			
5300	32243.4	37254.8	42999.4	45751.5	48853.3	51831.2	55073.7	58870.7	62364.1	68359.1	72896.9	76190.8			
5400	32756.4	37826.8	43626.8	46399.6	49519.4	52508	55753.6	59539.6	63004.5	68885.4	73225	76156.9			
5500	33263.9	38391.4	44243.9	47035.7	50171.1	53168	56413.4	60183.8	63614.9	69368.9	73494.3	76040.5			
5600	33766.1	38948.6	44850.4	47659.5	50808.2	53810.7	57052.6	60802.7	64194.7	69808.7	73703.9				
5700	34262.6	39498.2	45446.3	48270.8	51430.5	54436	57670.9	61395.9	64743.2	70204.2	73852.5				
5800	34753.6	40040	46031.3	48869.3	52037.6	55043.4	58268	61963	65260.1	70554.5	73939.2				
5900	35238.8	40573.9	46605.2	49454.9	52629.3	55632.7	58843.5	62503.4	65744.6	70858.8	73962.7				
6000	35718.1	41099.9	47167.8	50027.4	53205.4	56203.6	59396.9	63016.8	66196.3	71116.3	73922.1				
6100	36191.5	41617.6	47719	50586.4	53765.5	56755.7	59928	63502.7	66614.5	71326.3					
6200	36658.8	42127.1	48258.5	51131.8	54309.4	57288.7	60436.3	63960.5	66998.8	71487.8					
6300	37120	42628.1	48786.2	51663.3	54836.9	57802.3	60921.4	64390	67348.6	71600.3					
6400	37575	43120.6	49301.8	52180.8	55347.6	58296.2	61383.1	64790.5	67663.3	71662.8					

3.4 影響 V 型皮帶馬力轉速的因子

從式(2-30)可知影響皮帶馬力值大小的關係除了轉速與皮帶輪直徑外，還需考慮皮帶與皮帶輪間的接觸角、皮帶的長度並加入安全係數，讓皮帶馬力值有較準確的修正，使皮帶選用可以在實務上更符合使用者的需求。本論文討論三大因子：接觸因子、長度因子與功能因子來作為皮帶馬力值修正的參數，並製作成表方便選用。

3.4.1 接觸因子

定義接觸因子為

$$C_1 = tk_\theta = t \times (1 - e^{-\mu k_\theta}) = t \times \frac{r-1}{r} \quad (3-28)$$

當接觸角度 180° 時， $C_1 = 1$ 及式(3-11) $r = 4.62$ 帶入(3-26)得

$$C_1 = 1 = t \times k_\pi = t \times \frac{r-1}{r} = t \times 1.276 \quad (3-29)$$

解式(3-27)得 $t = 0.784$ 代入(3-26)可得將 k_π 的值用 C_1 來表示

$$C_1 = 1.276 \times (1 - e^{-\mu k_\theta}) = 1.276 k_\theta$$
$$\therefore k_\pi = 0.784 C_1 \quad (3-30)$$

當接觸角 θ 不為 π 時，式(3-24)中的 π 改為 θ 重寫為

$$P_\theta = k_\theta \left(\omega \frac{D}{2} \right) \left[T_{Pf} - \frac{M}{D} - \rho \theta \left(\omega \frac{D}{2} \right)^2 \right] \quad (3-31)$$

將(3-28)與其它已知參數代入(3-31)可得

$$P_\theta = C_1 \left\{ 0.784 \cdot \left(\omega \frac{D}{2} \right) \left[T_{Pf} - \frac{M}{D} - \rho \theta \left(\omega \frac{D}{2} \right)^2 \right] \right\}$$
$$= C_1 \times [(P_\pi)_{L_0}] \quad (3-32)$$

可利用接觸角找到相互對應的接觸因子，代入(3-30)來調整皮帶馬力與轉速的數學模式，修正在不同接觸角時的馬力值。表 3-7

列出接觸角與對應的接觸因子數值。因為皮帶馬力是由較小的皮帶輪輸入，所以在表 3-7 中接觸角的值小於等於 180 度。

表 3-7 接觸角與對應的接觸因子

θ	C_1
180	1.00
177	0.99
174	0.99
171	0.98
168	0.97
165	0.96
162	0.95

3.4.2 長度因子

皮帶的疲勞壽命除了式(2-30)中的參數有關之外，皮帶的長度對壽命的影響也是不可忽略。

這裡定義皮帶疲勞壽命為：

$$Life = \frac{N}{V} \times L, \quad L \text{ 為皮帶的長度} \quad (3-33)$$

$$\because x^{\frac{1}{m}} = 1 + \frac{\ln x}{m} \text{ 將 } x \text{ 的值用 } \frac{1}{2N} \text{ 帶入得}$$

$$\left(\frac{1}{2N}\right)^{\frac{1}{m}} = 1 + \ln\left(\frac{1}{2N}\right)/m \quad (3-34)$$

將(3-32)代入(2-28)可以得到

$$P_{\pi} = k_{\pi} V \left[F \left(1 + \ln\left(\frac{1}{2N}\right)/m \right) - \frac{M}{D} - \rho \pi V^2 \right] \quad (3-35)$$

將(3-33)化簡成以 10 為底的對數關係

$$\log\left(\frac{1}{N}\right) = \log e \times m \left(\frac{\left(\frac{P_\pi}{k_\pi V} + \frac{M}{D} + \rho\pi V^2\right)}{F} - 1 \right) - \log \frac{1}{2} \quad (3-36)$$

再將式(3-34)左右各加上 $\log V$ 得

$$\log\left(\frac{V}{N}\right) = \log e \times m \left(\frac{\left(\frac{P_\pi}{k_\pi V} + \frac{M}{D} + \rho\pi V^2\right)}{F} - 1 \right) - \log \frac{1}{2} + \log V \quad (3-37)$$

(3-35) 中 $\frac{P_\pi}{k_\pi V} + \frac{M}{D} + \rho\pi V^2$ 正好為耐久限的峰力值 T_{pf} ，所以化簡得

$$\log\left(\frac{V}{N}\right) = \log e \times m \left(\frac{T_{pf}}{F} - 1 \right) + \log 2V \quad (3-38)$$

令 $G = \log\left(\frac{V}{N}\right)$ ，並由(3-21)將 $m = \frac{1}{B}$ ， T_{pf} ， $F = area \times A$ ， $V = \frac{\omega D}{2}$

計算得到的值代入(3-36)得到

$$\begin{aligned} G &= \log\left(\frac{V}{N}\right) \\ &= \log e \times \left(\frac{1}{0.122887} \right) \left(\frac{1673.39}{1.72 \times 10^8 \times 0.936 \times 10^{-4}} - 1 \right) + \log 2(30) \quad (3-39) \\ &= -1.3886 \end{aligned}$$

將式(3-31)兩邊取對數得

$$\log(Life) = \log\left(\frac{N}{V}\right) + \log L \quad (3-40)$$

再將(3-37)代入(3-38)， $\log(life) = \log(life)_{L_0}$ ， $L = L_0$ 得到皮帶在標準設計長度下，SanWu-SPA-2000 的疲勞壽命對數值

$$\log(Life)_{L_0} = -G + \log L_0 \quad (3-41)$$

定義皮帶長度因子為

$$C_2 = \frac{\log(Life)_L}{\log(Life)_{L_0}} = \frac{-G + \log L}{-G + \log L_0} \quad (3-42)$$

當皮帶的長度改變時， C_2 的比值也會跟著改變，當改變皮帶型號時，會產生不同的 G 值，表 3-8 列出 SPA-2000 皮帶長度與對應的長度因子 G 。皮帶長度越長，皮帶壽命也越長，因此分析馬力值的時候要根據皮帶的長度來做修正。疲勞試驗時的皮帶長度 L_0 下，由 (3-31) 導出的馬力值為

$$P_{\theta} = k_{\theta} \left(\omega \frac{D}{2} \right) \left[T_{pf} - \frac{M}{D} - \rho \theta \left(\omega \frac{D}{2} \right)^2 \right] \quad (3-43)$$

則長度為 L 時修正得到的標準化馬力值(nominal power)為 P_N

$$P_N = (P_{\theta})_L = C_2 \cdot P_{\theta} = C_2 \cdot C_1 \cdot [(P_{\pi})_{L_0}] \quad (3-44)$$

3.4.3 功能因子

功能因子指的是皮帶設計裡給定的安全係數，一般根據皮帶的使用環境來選擇功能因子的大小。可以從兩方面來做考量：傳動目標與傳動負載。當傳動目標的馬力值與傳動負載越大時，皮帶所受到的張力值較大，則所需要的安全係數相對較高。依據這樣的原則可以調整皮帶範圍做出功能因子表，如表 3-8。

功能因子對於傳動系統提供的來源馬力值 P_o ，其修正如下：

$$P_D = C_3 \cdot P_o \quad (3-45)$$

P_D 為設定馬力值(design power)

由式(3-44)可得由長度因子、功能因子修正過後的馬力值，式(3-45)得到修正過的設定馬力值，二式相除得到皮帶運轉所需的皮帶數：

$$z = \frac{P_D}{P_N} = \frac{C_3 \cdot P_o}{C_1 \cdot C_2 \cdot (P_{\pi})_{L_0}} \quad (3-46)$$

表 3-8 SPA-2000 皮帶長度與對應的長度因子 C_2

有效周長	C_2	有效周長	C_2	有效周長	C_2
732	0.91	1257	0.96	1832	0.99
757	0.91	1282	0.96	1857	0.99
782	0.91	1307	0.96	1882	0.99
800	0.92	1320	0.96	1900	1.00
807	0.92	1332	0.96	1907	1.00
832	0.92	1357	0.96	1932	1.00
850	0.92	1382	0.97	1982	1.00
857	0.92	1400	0.97	2000	1.00
882	0.92	1407	0.97	2082	1.00
900	0.93	1432	0.97	2120	1.01
907	0.93	1457	0.97	2132	1.01
932	0.93	1482	0.97	2232	1.01
950	0.93	1500	0.97	2240	1.01
957	0.93	1507	0.97	2307	1.01
982	0.93	1532	0.98	2360	1.02
1000	0.94	1557	0.98	2432	1.02
1007	0.94	1582	0.98	2482	1.02
1032	0.94	1600	0.98	2500	1.02
1060	0.94	1607	0.98	2607	1.02
1082	0.94	1632	0.98	2650	1.03
1107	0.95	1657	0.98	2800	1.03
1120	0.95	1682	0.98	3000	1.04
1132	0.95	1700	0.98	3150	1.04
1157	0.95	1707	0.99	3350	1.05
1180	0.95	1732	0.99	3550	1.05
1207	0.95	1782	0.99	3750	1.06
1232	0.96	1800	0.99	4000	1.06
1250	0.96	1807	0.99	4250	1.07

表 3-9 功能因子選擇表[12]

傳動目標	傳動負載					
	一般扭力			高扭力		
	短週期 (3~5 hours daily)	一般週期 (8~10 hours)	長週期 (16~24 hours daily)	短週期 (3~5 hours daily)	一般週期 (8~10 hours)	長週期 (16~24 hours daily)
攪拌器 吹風機 離心幫浦 輕負載傳送裝置	1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
沙礫傳送裝置 發電機 洗衣機 印刷機	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
活塞幫浦 研磨機 紡織機 鋸床	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
壓碎機 起重機 軋鋼機	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

3.5 結論

本論文建議在分析皮帶馬力轉速圖表時，先將皮帶尺寸做標準化的動作。確定皮帶的尺寸規格之後，如第 3.1.2 節所述，再根據第二章所建立的馬力轉速數學模式及相關的理論，並使用 3.2 節的試驗方式，與 3.3 節的分析方法。單條皮帶的數值分析方式主要是為了建立皮帶馬力轉速表，而聯體皮帶的數值分析則是建立了皮帶馬力轉速圖。

第三章所提到的數值分析部份，特別為針對 V 型皮帶而言，其中 V 型皮帶分為 SPZ、SPA、SPB、SPC，所以要建立完整的 V 型皮帶馬力轉速圖表，則必須將 SPZ、SPA、SPB、SPC 個別的數值分析結果加以整合。本論文將提供 VBA 建立 Excel 的介面(附錄 1)，來幫助皮帶馬力轉速圖表的建立，除了可以作為皮帶選用的參考，同時也可以檢視皮帶品質的差異程度。



第四章 V 型傳動皮帶之有限元素應力分析

經由疲勞試驗，本論文建立 V 型傳動皮帶完整的設計手冊流程，對於皮帶馬力轉速圖表的相關參數以及背後的原理，分別利用機械性質的試驗、疲勞試驗與參數值的探討，製作出符合工業界的馬力轉速圖表。工程師在設計皮帶與皮帶輪的傳動系統時，需要馬力轉速圖表的查詢，快速的決定較正確的皮帶截面與皮帶輪間的幾何關係。馬力轉速圖表的製作過程同時也提供製造廠商檢視本身皮帶品質優劣的方法。

由於馬力轉速圖表的製作，需要較冗長的時間與人力規劃，才能夠將皮帶的疲勞試驗相關數據完成。對於皮帶製造時改變材料配置的皮帶品質，無法提供迅速的分析與預測，本章節將針對皮帶疲勞試驗上，在時間與準確度上的缺點，利用有限元素法軟體，分析皮帶在運動中應力的分佈情況，模擬並預測皮帶破壞的情況。

4.1 有限元素法與物理問題描述

在工業上與學術研究上，對於機械方面的結構、熱傳、磁場等分析，藉著計算機的運算能力與有限元素法的數值方法為架構，建立電腦輔助工程分析(CAE)的軟體，在市面上已有許多軟體提供分析使用，本論文使用 ANSYS[2]建立皮帶傳動系統的模型與模擬皮帶傳動系統的靜態及動態應力分析。

4.1.1 大變形理論

模擬皮帶傳動系統時，由於皮帶的主要組成為橡膠，當系統藉

由皮帶傳動力量時，皮帶的變形將無法避免，且其變形方式屬於超彈性材料的非線性變形，與一般的線性變形的處理方式不同。若產生不可忽略的非線性變形，ANSYS 處理非線性變形的方式，需考慮應變-位移關係式中的高次項與耦合項等非線性項。由於非線性項的加入，所以在代數上將利用 Newton-Raphson method 迭代，求得數值上的近似解。

4.1.2 傳動皮帶物理模型

V 型皮帶傳動系統為兩個皮帶輪與一條 V 型皮帶構成，其簡化的配置如圖 4-1。因為設計疲勞試驗時，皮帶輪與皮帶經過標準化的過程，所以兩邊圖中皮帶輪大小一致。左邊的皮帶輪為主動輪，右邊的皮帶輪為從動輪，整個系統的動力來自主動輪。主動輪經由接觸面間的摩擦力帶動皮帶，經由從動輪與皮帶的接觸面間摩擦力傳遞動力至從動輪上，直到從動輪克服負載(阻抗扭力)而轉動。

皮帶傳動時，若從動輪施加的抗阻扭力不大，則皮帶與皮帶輪之間的摩擦力為靜摩擦力，皮帶上的橡膠層產生剪應變，且其方向與摩擦力方向相同。若從動輪施加的抗阻扭力加大，則皮帶與皮帶輪接觸部分的摩擦力將漸漸轉變為動摩擦力，且皮帶與皮帶輪間有相對運動。一般來說動摩擦力的值小於靜摩擦力，所以當皮帶與皮帶輪接觸的所有部份都轉變為動摩擦力，此時皮帶產生滑移，皮帶將無法再傳遞更大的扭力。另外，施加於皮帶的預拉力越大，皮帶施予滑輪的正向力越大，接觸面間的最大靜摩擦力也越大，此時系統可傳動的扭力就越大。

圖 4-1 皮帶與皮帶輪之間的接觸情形分為三種 [15]：

1. 傳動扭力小時，皮帶與皮帶輪接觸面緊密貼合沒有相對滑動。
2. 傳動扭力大時，皮帶與皮帶輪間相對滑動。
3. 皮帶未接觸皮帶輪部份，沒有接觸行為發生。

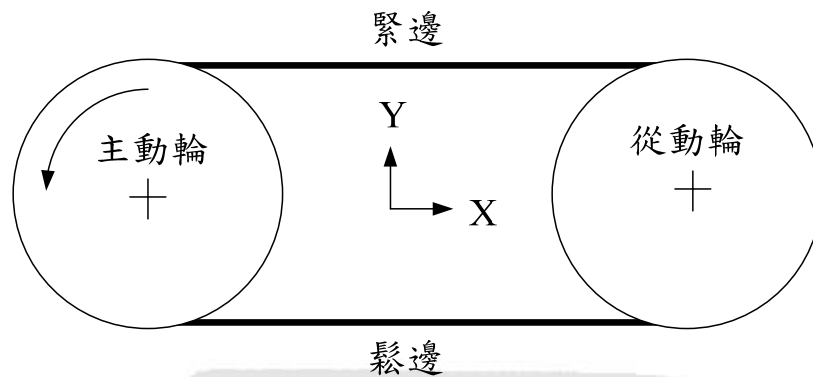


圖 4-1 V 型皮帶傳動系統物理模型簡化圖

4.2 皮帶與皮帶輪模型建構與模擬方法

本論文調整拉力纖維、皮帶的厚度與材料等參數模擬皮帶傳動系統的靜態與動態模型，且為了完成更好的收斂性作下列假設：

1. 皮帶傳動系統為三維應變-應力。
2. 假設皮帶輪為不具轉動慣量的剛體。
3. 拉力纖維的蒲松比設為 0.33，橡膠材料的蒲松比設為 0.4。
4. 模擬拉力纖維與橡膠層為線彈性材料，可承受壓力與拉力。
5. 皮帶產生大變形，皮帶輪產生大位移。
6. 忽略重力對皮帶傳動系統的影響。
7. 主動輪有 X 方向與中心軸旋轉的自由度。從動輪則只有中心軸旋轉的自由度。

在使用 ANSYS 建模時，模型本身是沒有設定單位，所有的數值單位都由使用者定義，所以在模擬皮帶傳動系統前，須正確的定義皮帶傳動模型的度量單位，維持模擬時單位的一致性。表 4-1 為三維皮帶傳動系統模擬分析所採用的單位。

表 4-1 模擬皮帶傳動系統的度量單位

長度	質量	時間	密度	作用力	壓(應)力	加速度
mm	ton	s	ton/mm ³	N	Mpa	mm/s ²

4.2.1 三維 V 型皮帶傳動系統建模

本論文參考褚靜如[15]的模擬方法。皮帶建模時，為了考慮實務上預應力施加於皮帶上的影響，不直接建立皮帶與皮帶輪安裝完成的模型，而是建立皮帶與皮帶輪未安裝的模型，並在之後控制皮帶輪的位移，使皮帶能夠正確的安裝在皮帶輪上，產生符合實際情況的預應力。首先，如表 4-2 將 V 型皮帶的尺寸大小列出，本論文所模擬的皮帶型號為 SPA-2000，為截面大小 A，皮帶長度 2000mm 的 V 型傳動皮帶，並將配合的皮帶輪大小與建模的相關尺寸列出。為了方便建模，先標示出皮帶與皮帶輪在模型中的相關位置，如圖 4-2 所示(圖中並非 1:1 等比例，只是概略將座標標示)，其中皮帶輪的外型表示如圖 4-3(A)。皮帶的截面尺寸如圖 4-3(B)。根據上述的皮帶相關尺寸與外型，進入 ANSYS 軟體，並撰寫 APDL(ANSYS Parameter Design Language)語法，建立皮帶與皮帶輪的模型。完成後如圖 4-4 所示，此時建立的皮帶傳動系統模型，其皮帶與皮帶輪處於未安裝完成的無預張力階段。

表 4-2 SPA-2000 與配合的皮帶輪相關尺寸

	主動輪	從動輪	中心距	橡膠厚度	纖維厚度	皮帶總長
V 型皮帶	180mm	180mm	870mm	5mm	5mm	2000mm

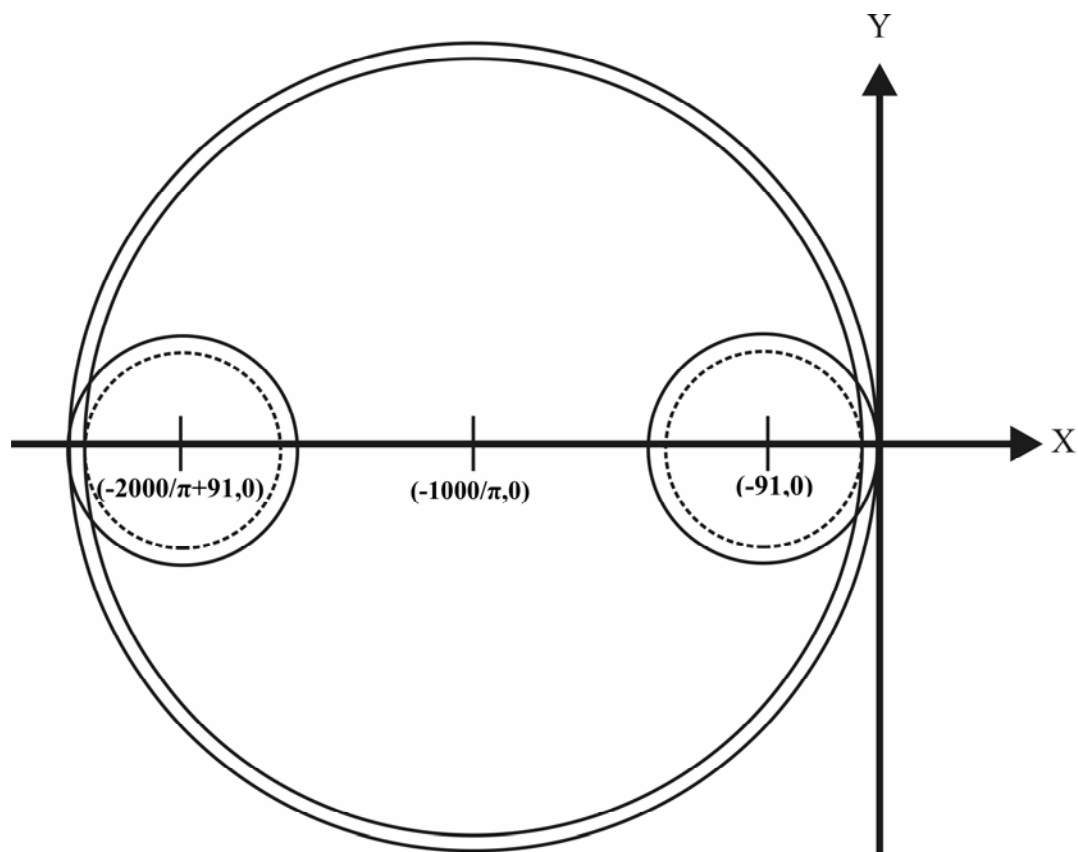
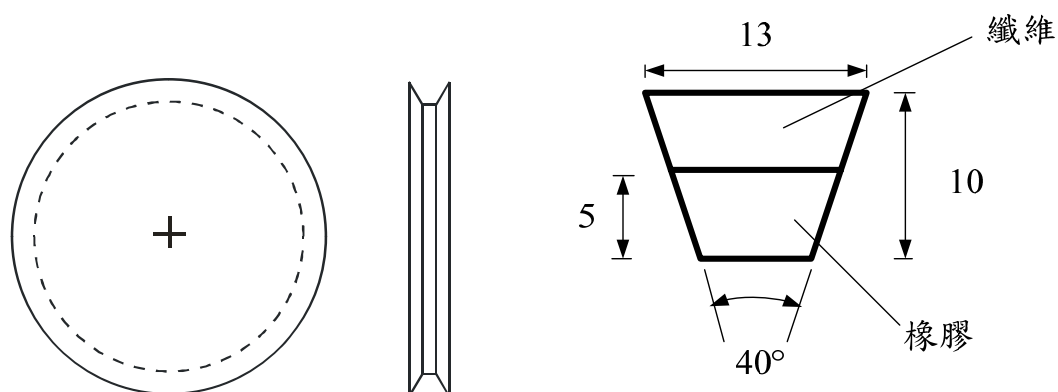


圖 4-2 皮帶與皮帶輪建模前相關尺寸位置



(A)皮帶輪模擬外型構造

(B)皮帶截面模擬尺寸

圖 4-3 皮帶建模標示圖

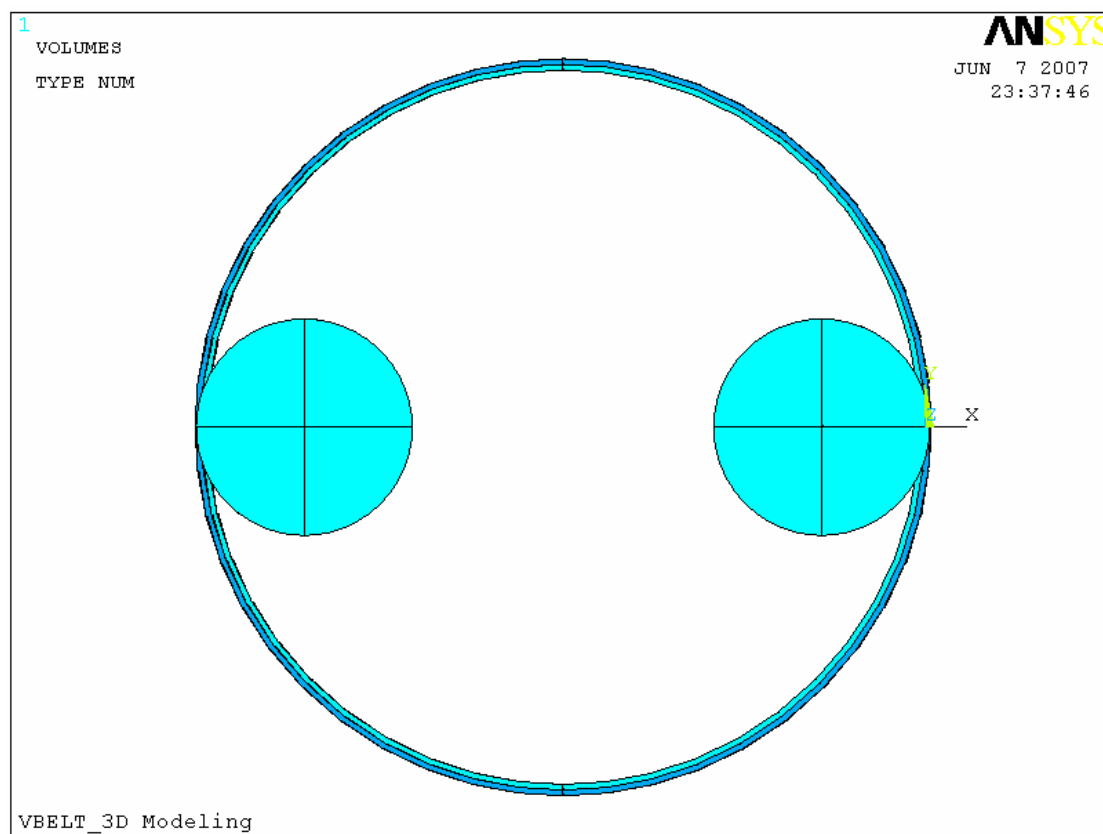


圖 4-4 ANSYS 中皮帶傳動系統模型

4.2.2 材料性質設定

皮帶與皮帶輪基本模型建立之後，由於皮帶本身就是複合材料，模擬時設定為兩種材料的複合(纖維及橡膠)，所以在建立皮帶傳動系統的有限元素模型時，必須根據實際情況給定材料的各種性質，包含楊氏係數、蒲松比、密度等。表 4-3 列出所需要的材料參數，模擬時所需的材料有四種，分別為橡膠，纖維，皮帶輪與皮帶相互的接觸面，其中本論文選取超彈性材料 HYPER58 作為模擬橡膠的三維元素，HYPER58 提供 Mooney-Rivlin 應變能函數(strain energy function)作為模擬超彈性材料的數值方法。模擬時考慮皮帶的收斂性質，所以直接選用計算量較小的剛體 SOLID185 三維元素(圖 4-5)來模擬皮帶，SOLID185 為三維八節點元素，對於幾何非線

性或材料非線性的問題提供較理想的模擬與收斂效率，材料的基本機械性質則參考褚靜如[15]所述，如表 4-3 所示。

表 4-3 皮帶傳動系統的材料參數

	編號			
	1	2	3	4
	Rubber	Pulley (Contact Surf.)	Belt (Contact Surf.)	Fiber
元素	HYPER58	TARGE170	CONTA173	SOLID185
KEYOPT	KEYOPT,1,7,0		KEYOPT,3,2,0	KEYOPT,4,2,0
楊氏係數(Mpa)	6	Rigid Body	Deformed Body	564.5
蒲松比	0.4	Rigid Body	Deformed Body	0.33
密度(ton/mm ³)	1.27E-09	Rigid Body	Deformed Body	2.07E-09
摩擦係數	-	0.5	0.5	-

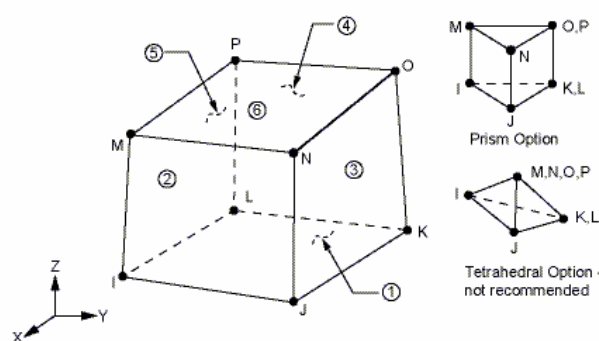


圖 4-5 SOLID185 元素

4.2.3 接觸行為模擬方法

本論文在設定皮帶與皮帶輪正確安裝時，需模擬有限元素的接觸行為。皮帶與皮帶輪間的三維接觸分析為面對面(surface to surface)的接觸方式，本論文選用 TARGE170 三維元素與 CONTA173 三維元素，兩個元素配合來模擬，如表 4-3 所示。如圖 4-6 所示，TARGE170

在碰撞分析中，可以模擬為剛體或者變形體，CONTA173 不論是配合剛體或變形體的碰撞都必定模擬為變形體的元素。在模擬皮帶時，因為碰撞的兩接觸面中皮帶輪的強度及硬度比皮帶大的多，所以可以假設皮帶輪為剛體，在剛體－變形體碰撞條件下，指定 TARGE170 為皮帶輪接觸面模擬元素，並指定配合的 CONTA173 為皮帶接觸面模擬元素，如圖 4-7 所示。

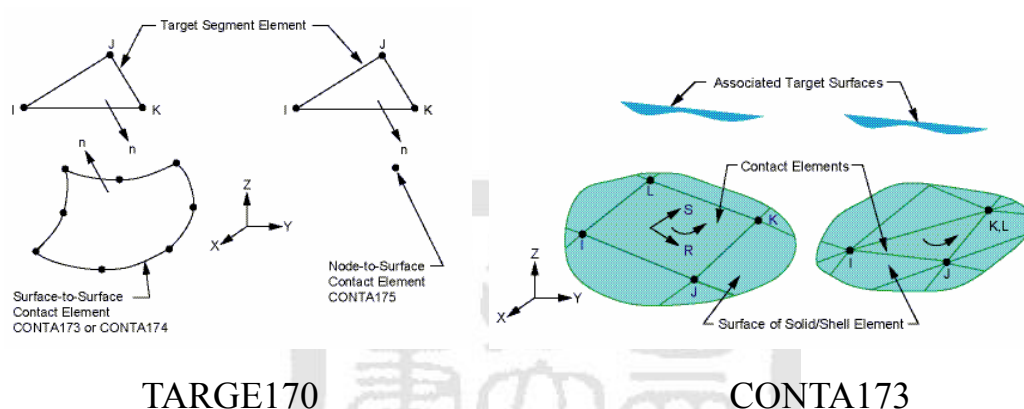


圖 4-6 接觸面模擬元素

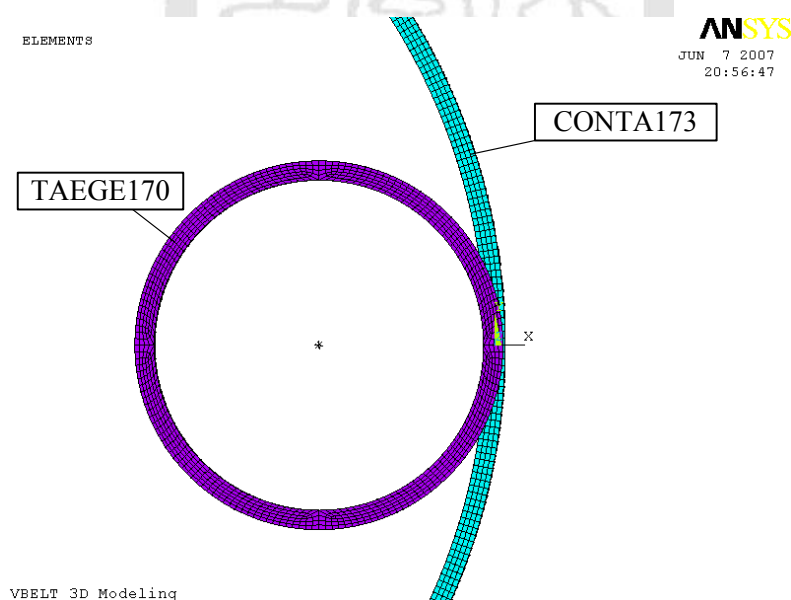


圖 4-7 接觸面間元素設定

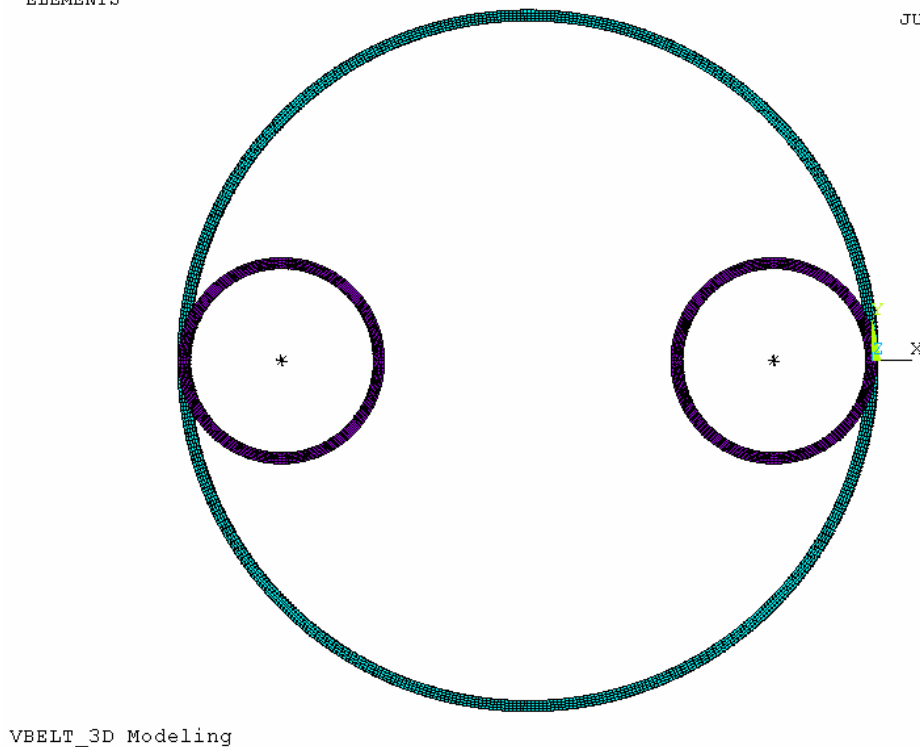


圖 4-8 網格化完成的皮帶傳動系統

透過網格化的步驟，皮帶傳動系統如圖 4-8。由於網格化過程將皮帶輪的旋轉中心也同時網格化，所以可以藉著設定皮帶輪旋轉中心的位移與旋轉，分別設定皮帶的靜態與動態模擬情況。靜態模擬時，需移動皮帶輪至正確安裝位置，所以將設定旋轉中心移動的距離。動態模擬時，則需要藉著控制旋轉中心的轉動角度，設定皮帶輪的角速度。

4.2.4 皮帶動態模擬方法

皮帶傳動系統在運轉的時候，由馬達連接主動輪，主動輪隨著馬達設定的轉速轉動，並藉著皮帶與皮帶輪的摩擦力，將從動輪帶動，帶動從動輪必須要克服從動輪連接的負載大小。根據上面的運動描述，模擬皮帶傳動系統在運轉時的應力分析，需設定主動輪有

一個旋轉的角度大小，並在程式中設定旋轉的時間間隔，藉由時間長短與轉動角度，控制皮帶的角速度大小。在從動輪的部份則需施加固定的扭力值，經過設定讓扭力值可以線性的由零增加至固定扭力值，最後讓皮帶在運轉時承受一固定扭力值，如圖 4-9 所示，讓皮帶模擬分析可以盡量接近實際運動的模型。

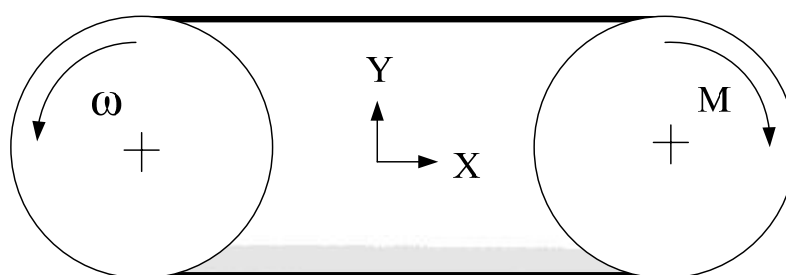


圖 4-9 皮帶傳動系統動態模擬模型示意圖

4.3 V型皮帶應力分析結果

皮帶傳動系統模擬的實例從靜態開始將皮帶正確安裝預應力，之後再進行皮帶受扭力及角速度的動態模擬。模擬的實例與內容如表 4-4 所示，皮帶傳動系統的靜態模擬為 Case 0，動態模擬為 Case 1。

ANSYS 跑出數值解之後，會根據設定的步驟將重要的數值資料紀錄在檔案裡，尤其在應力還有應變方面的資料，在後處理的時候，可以利用圖形化的方式將應力及應變的分佈狀況利用顏色來區分，並標示出最大值的位置，方便使用者辨別。本論文分析的皮帶傳動系統模型，皮帶的破壞是屬於延展性材料的破壞行為，破壞的主因為剪力破壞。所以在選擇應力的分佈行為時，ANSYS 建議使

用 von Mises Stress 的破壞準則，來計算皮帶所受應力的大小。並由其分佈狀況決定可能的破壞位置與皮帶運轉時的相關物理特性。

表 4-4 V 型皮帶應力分析案例分類

		力矩($N \cdot mm$)	轉速(rad/s)	主動輪	從動輪	備註
案例分類						
靜態	Case 0	0	0			皮帶傳動系統設置
動態	Case 1	MZ=-40	35	左	右	皮帶動態設置

4.3.1 三維靜態模擬結果

Case 0：靜態碰撞分析

經過後處理的設定，本論文將皮帶靜態分析-Case 0 位移變化圖繪出，確定皮帶是否由未安裝狀態，完成動態模擬前的安裝完成位置，如圖 4-10。皮帶在完成安裝的過程中，可以看見左邊的主動輪輪接觸皮帶之後，漸漸將皮帶拉開，期間皮帶的受力逐漸加大，最後到達預設的中心距離，並施加預拉力於皮帶上，完成整個皮帶的安裝過程，如圖 4-11-13 所示。

由圖 4-13 可知皮帶靜態模擬完成後的初始應力值最大值在皮帶的橡膠部份，大小為 $SMX=97.856\text{Mpa}$ ，且皮帶上環繞皮帶輪後分成上下兩部分，其應力值的分佈相同，表示皮帶兩邊的張力值相同，也符合皮帶運轉前，安裝預拉力的實際情況。由文獻可知，皮帶的主要受力部分是由纖維所承擔，但是本論文模擬之後得到的 von Mises Stress，橡膠所受到的應力值較高，其原因有二：

1. 橡膠部份除了承受皮帶輪撐開之後的拉力值外，還承受了皮帶輪擠壓的作用力，承受的力量部分較多。

2. 為了使 ANSYS 方便收斂，所以將皮帶厚度從中間分成上下兩部份，各為纖維與橡膠，其中纖維的截面積大於橡膠，且經過擠壓之後橡膠部份變形，截面積縮小。所以雖然纖維的受力較大，但是換算成應力值時，相對的會減小。

由圖 4-12 同時也可以看出，使用者利用 von Mises Stress 破壞準則分析時，如何判斷皮帶是否破壞。首先，需要注意最大應力值的分佈位置與大小，當最大應力值超過材料本身的降伏強度時，表示材料已經進入塑性區，將會發生永久變形，而破壞很有可能就是從最大應力值的位置發生。在傳動皮帶靜態分析上，最大應力值發生在橡膠上，表示橡膠承受的應力值，在皮帶中是發生破壞的主要部份，所以設計皮帶時，橡膠部份仍需要有承受足夠應力的能力，否則皮帶將因此破壞。

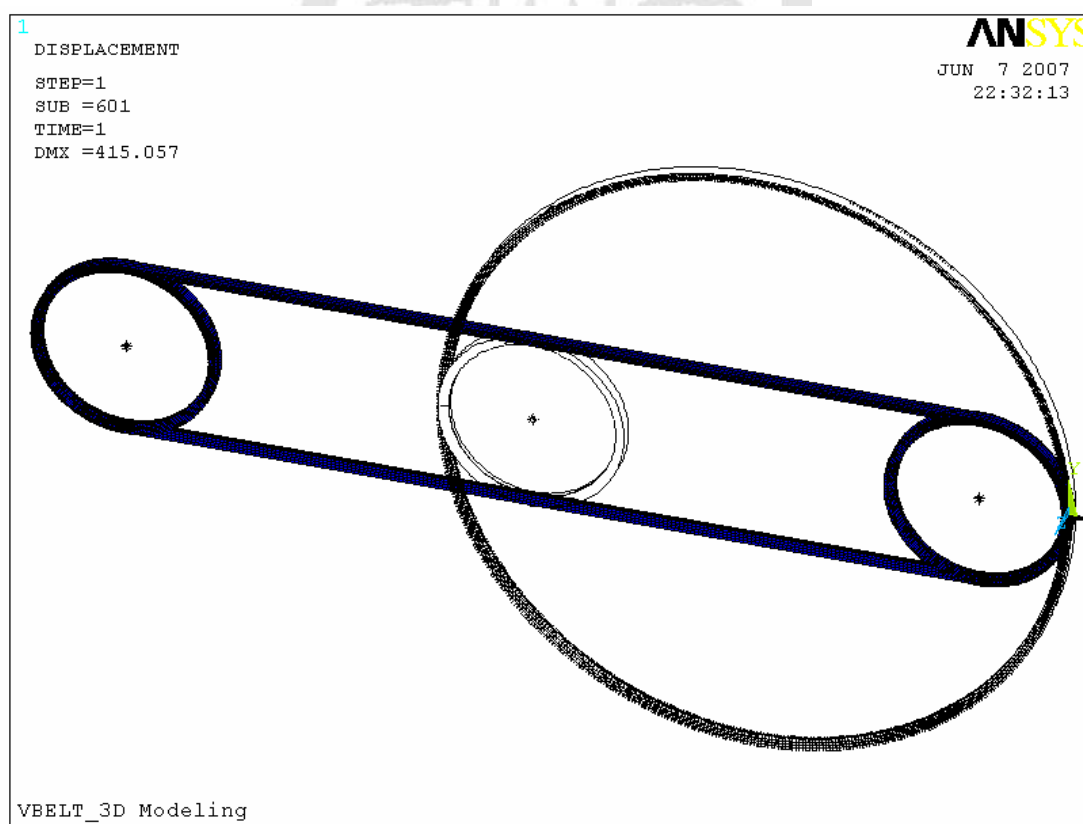
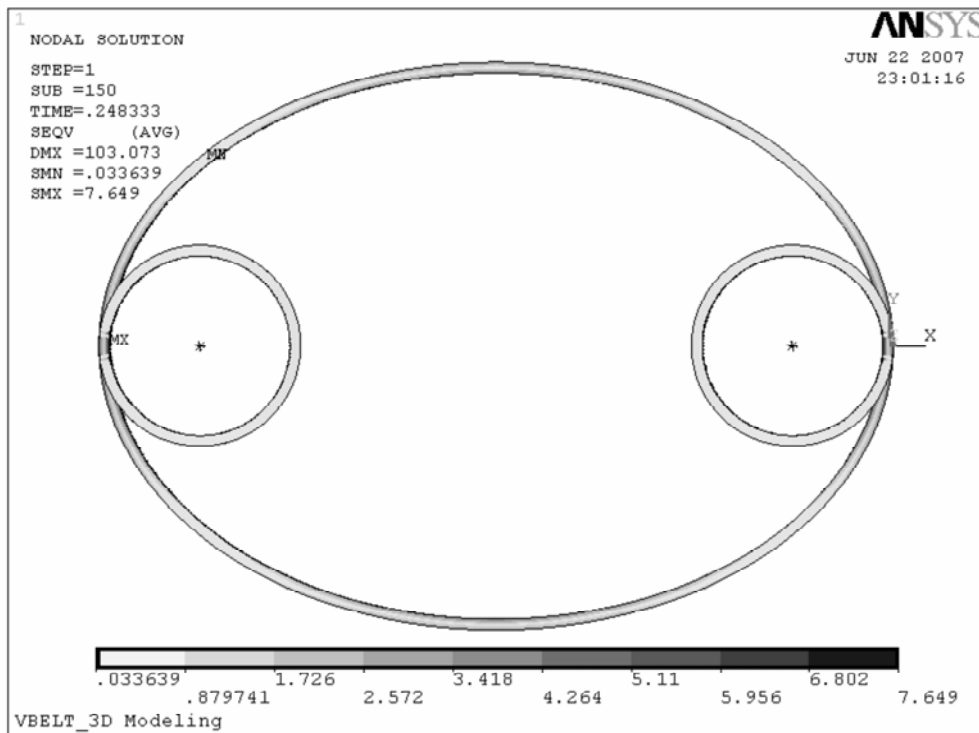
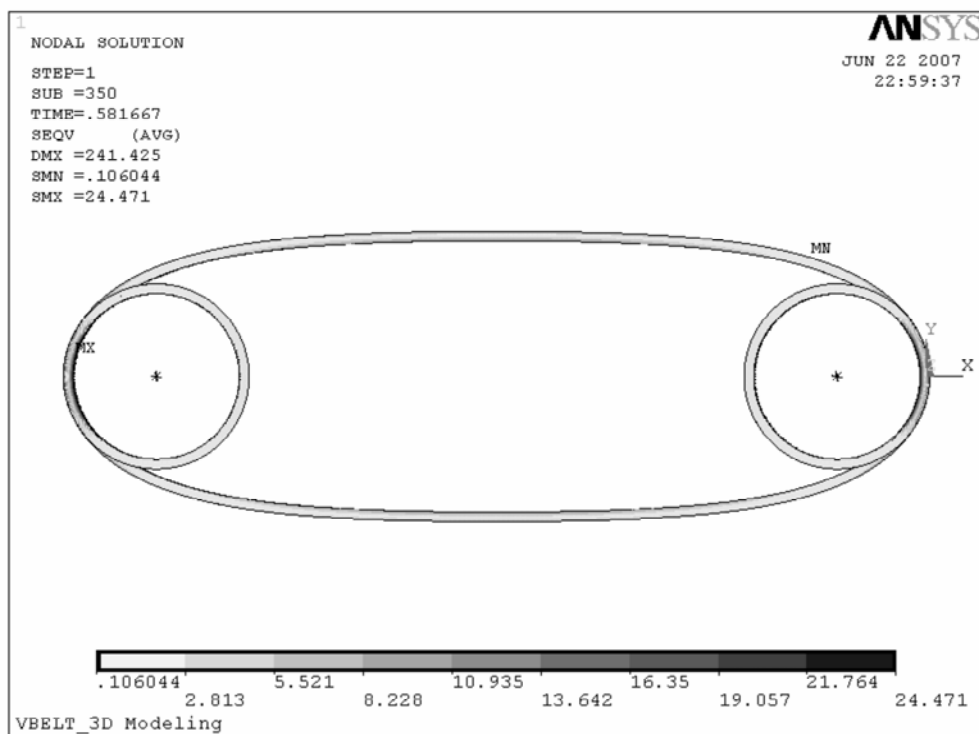


圖 4-10 皮帶傳動系統未安裝與安裝完成位置 3D 圖



(A) 位移 103.073mm 時最大 von Mises Stress, SMX=7.649Mpa



(B) 位移 241.425mm 時最大 von Mises Stress, SMX=24.471Mpa

圖 4-11 皮帶輪位移 von Mises Stress 變化圖

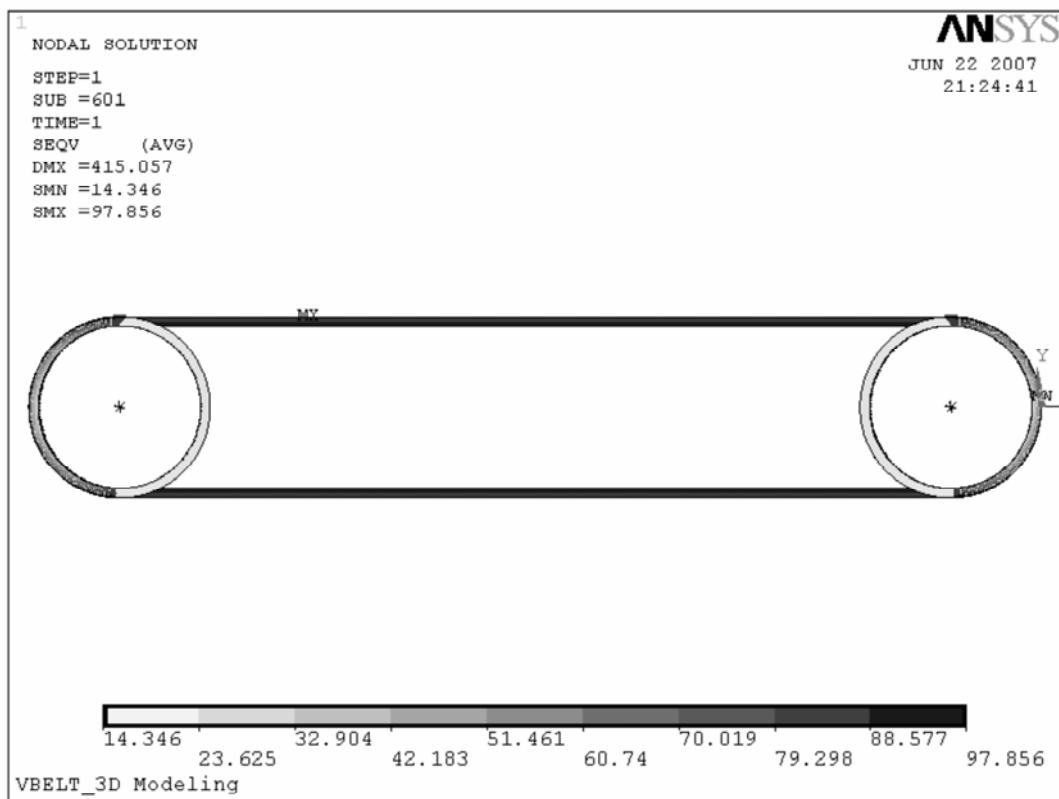


圖 4-12 安裝完成時最大 von Mises Stress, SMX=97.856Mpa

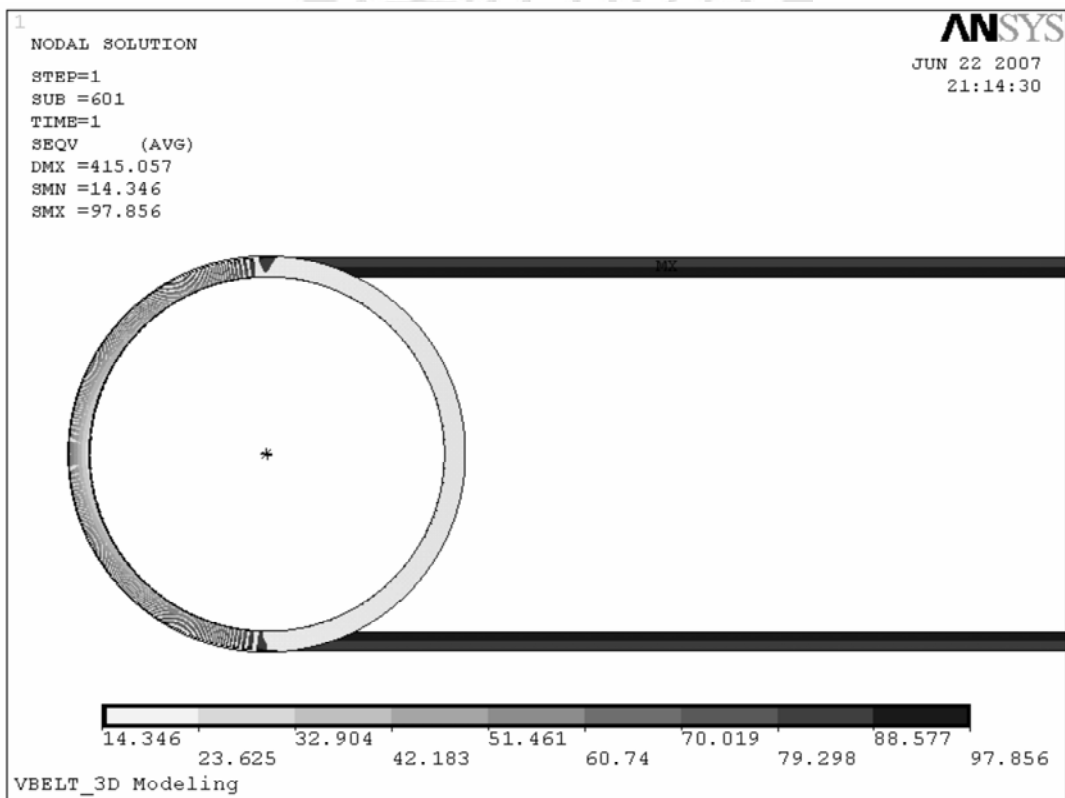


圖 4-13 Case 0 皮帶靜態最大 von Mises Stress 分佈圖

4.3.2 三維動態模擬結果

皮帶經由靜態模擬之後，皮帶輪的位置邊界條件設定完成，且完成皮帶動態模擬，預應力設定的邊界條件。在三維動態模擬中，本論文考慮的邊界條件，來自於從動輪力矩與主動輪角速度的設定，藉由兩個皮帶輪的旋轉中心設定，將皮帶傳動系統的動態條件簡化，讓 ANSYS 軟體能夠解出收斂且適合的數值解。

Case 1：動態 $MZ = -40 \text{ N} \cdot \text{mm}$ ，角速度 $= 35 \text{ rad/s}$

圖 4-14 顯示的兩個皮帶輪，左邊皮帶輪為主動輪，右邊為從動輪，在從動輪上施加扭力值 $40 \text{ N} \cdot \text{mm}$ ，做為皮帶傳動系統運轉時負載的來源。在主動輪上設定角位移為 350 rad ，皮帶運轉的時間給定為 10 秒，所以主動輪相當於 35 rad/s 的角速度運行。設定皮帶傳動系統運轉的動態模擬邊界條件後，模擬並觀察皮帶動態運轉時的應力值分佈情況。

由圖 4-15 可知皮帶運轉時，其最大應力值為 118.853 Mpa 大於靜態分析的應力值 97.856 Mpa ，表示在未與皮帶輪接觸的皮帶部分，其所包含的橡膠部分承受的應力大於纖維，而皮帶與皮帶輪相接觸的部份，應力值在隨即接觸的地方的纖維位置產生最大應力值，之後隨著皮帶輪的弧線分佈逐漸減小。另外，從圖 4-14 皮帶的應力分佈情況，可以看出皮帶傳動系統的上部份皮帶為緊邊而下部份為鬆邊。從文獻中可知[12]，皮帶所受的最大應力值，在皮帶與皮帶輪緊邊相接處，圖 4-13 中所示符合文獻的理論結果。此結果正好支持第三章皮帶疲勞試驗的設計與相關的分析。

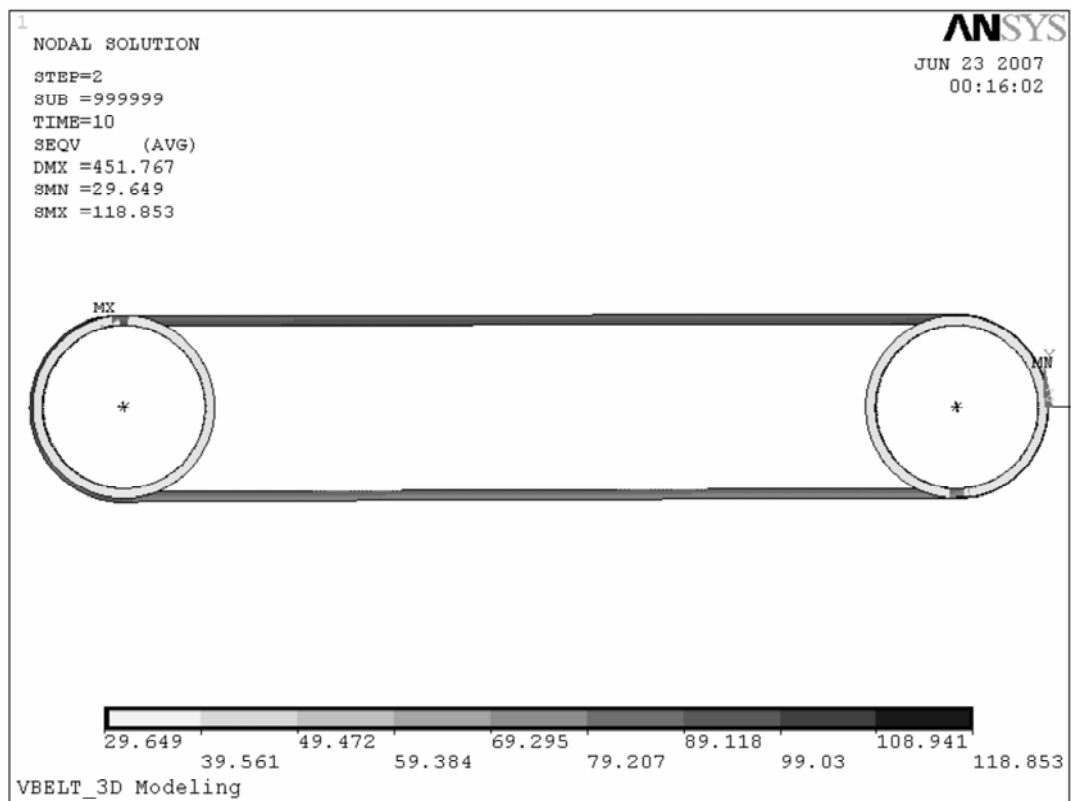


圖 4-14 Case 1 皮帶動態 von Mises Stress 分佈圖

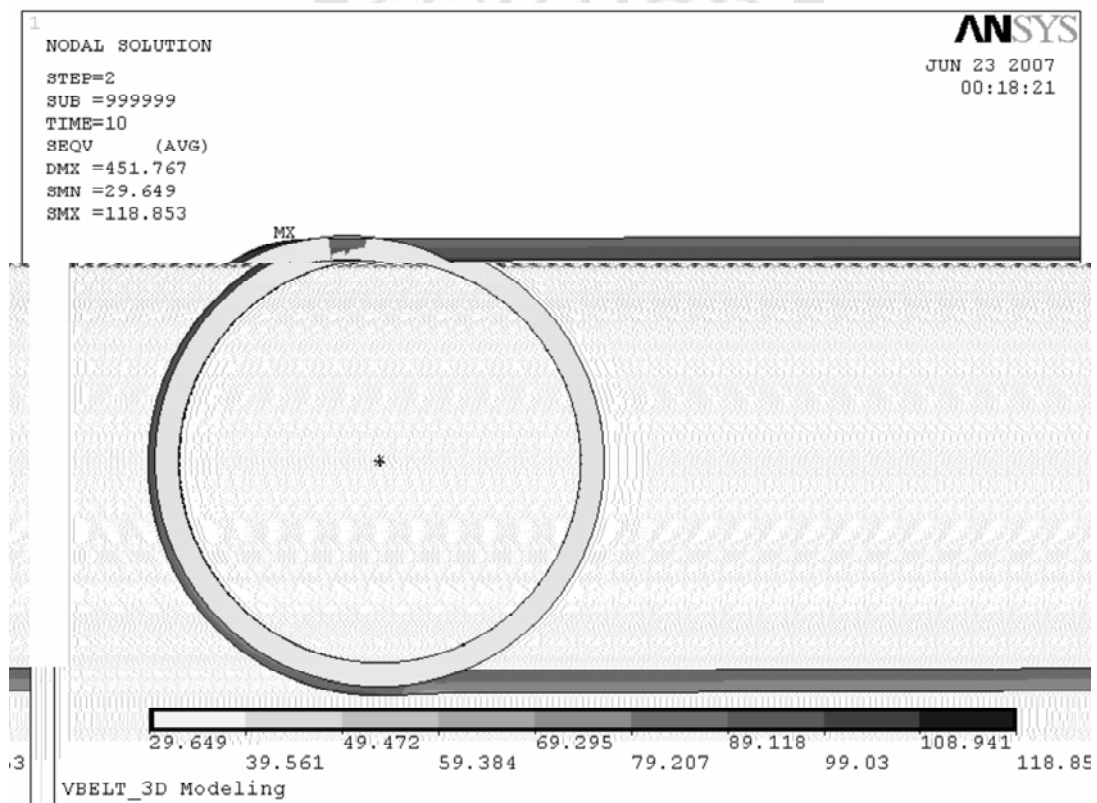


圖 4-15 Case 1 皮帶動態局部放大圖

4.3.3 皮帶應力分析結果探討

皮帶靜態模擬的結果，可以藉此來預測安裝皮帶時，皮帶所受到的預應力大小，除了可以提供使用者在選擇皮帶或組裝皮帶傳動系統時的依據，還能在之後的動態模擬，提供較實際的邊界模擬條件。皮帶在建模與網格化的方法，決定了之後解題分析的收斂效率，模型建模與網格化設定的元素大小需要相配合，避免過長的元素形成，造成之後數值解無法收斂或結果不真實的情況。碰撞分析時，建模需考慮距離太近的影響，會造成兩碰撞元素間，因為距離太近產生重複定義元素的錯誤，而無法進行模擬碰撞時的非線性數值解。所以需要經過幾次的嘗試比較，才能獲得收斂且較完整的模擬結果。

皮帶動態分析的結果，顯示皮帶在靜態到動態的應力分佈改變情形，也將皮帶運轉時，鬆邊與緊邊的皮帶所受的應力繪出，加以比較。皮帶應力動態分佈的情況除了可以判別皮帶破壞的情況，預測可能的破壞情形。同時也可設定在不同的邊界條件下，應力的分佈情形，提供日後設計皮帶的參考，並改善可能破壞的材料，針對不同功用的皮帶提供預測與分析的流程。

對於皮帶最大應力值的分佈位置與數值結果，ANSYS 軟體模擬施加扭力於從動輪，並在主動輪上給定角速度，所以在設定動態的邊界條件時，需要考慮到扭力值是否給的恰當。模擬主動輪的角速度時，需注意設定動態模擬步驟的時間與轉動角度的大小，相互的配合之下，才能在動態模擬得到較好的結果。模擬時數值的發散情況經常出現，除了設定時需要將發散的數據排除，並加以改良之後的動態設定邊界條件。

第五章 結論與未來展望

皮帶在動力傳輸上的應用，材料的演變從繩索到橡膠以及纖維合成的複合材料，其進展及應用的範圍相當廣泛，但是在研究報告上的討論及試驗的探討並不多。工業界在皮帶的領域上發展已久，但是對於皮帶品質的掌握與相關理論的建立仍舊缺乏。本論文藉由Wallace[12]提出皮帶運轉所受到的三種張力分析，與疲勞破壞的試驗分析結果，建立皮帶馬力轉速圖表。最後利用有限元素法來分析皮帶傳動系統，由應力分佈將皮帶運轉的相關現象整合，模擬並預測皮帶破壞的情況。

同種皮帶在製造選用時，根據皮帶數的多寡可分為單體皮帶與聯體皮帶，而聯體皮帶能兼顧多條單體皮帶承受較大負荷的優點，又能改善單體皮帶間對於皮帶輪接觸的密合度問題，所以製作馬力轉速圖表時，也必須將聯體皮帶的設計做適當的考量。皮帶馬力轉速的數學模式裡，對於皮帶數目與馬力的影響有詳細的解說，本論文即是根據推導出的數學模式，建立各種不同皮帶型錄中，馬力轉速圖表的製作流程。

本論文首先分析包布型高馬力用三角帶，即 V 型皮帶。由於馬力轉速關係的數學分析模式參數，需要利用試驗的方式才能得到。所以設計了兩個試驗：拉伸試驗與疲勞試驗，得到數學模式裡所必須的設計參數。其中拉伸試驗是將整條皮帶包含心線，直接放置於機台做試驗。而疲勞試驗則先以標準化的方式，設計出試驗的各項條件，包含幾何以及荷重的試驗設計。完整的馬力轉速分析模式在參數的加入後，就可以直接進行數值分析。本論文在分析 V 型皮帶

數值分析方面，以單條皮帶數學模式的分析建立馬力轉速表，並以聯體皮帶數學模式建立馬力轉速圖。此外皮帶在選用的時候，除了考量馬力轉速圖表之外，還需將皮帶的長度、皮帶與皮帶輪的接觸角還有帶動皮帶輪的馬力來源產生的影響，加入皮帶設計的規範手冊中。針對這些特性設計出皮帶馬力值的修正因子：長度因子、接觸因子及功能因子。並根據找出的參數關係建立讓工程師容易使用的表格，將皮帶的規範圖表與修正因子建立完整的連結。

模擬皮帶傳動系統方面，參考褚靜如[15]提供的皮帶參數與建議的模型做相關的皮帶應力分析，V 型傳動皮帶的模型建立，並不符合平面應力分析的條件，所以本論文以更符合實際情況的三維模式建模，並完成在靜態與動態的模擬分析，預測皮帶破壞的可能情況。

本論文提供的疲勞試驗方式將有助於檢視皮帶本身品質的差異。此外，模擬皮帶的應力分析方法，則提供皮帶在設計與改良上更多的參考方向。本論文只針對 V 型皮帶建立疲勞試驗與模擬皮帶傳動系統的應力分析，未來的方向如下：

1. 建立一般工業用三角帶(A、B、C、D、E)、包布型高馬力用三角帶等各類型號的規範圖表。
2. 改善皮帶基本性質測試的準確度。
3. 改善皮帶疲勞試驗時，觀察情況的穩定度。
4. 模擬皮帶傳動系統時，建立更適合的模型與材料參數，分析皮帶的應力分佈變化。

參考文獻

1. Alan N. Gent, *Engineering with Rubber*, Hanser, New York, 1992.
2. ANSYS 8.0 HTML Online Documentation, Structural Analysis Guide, Contact, SAS IP, Inc., USA, 2003.
3. Gates Corporation, *Heavy Duty V-Belt Drive Design Manual*, Denver, Colorado, 1999.
4. Gates Corporation, *Industrial Power Transmission Systems Catalog*, Denver, Colorado, 2005.
5. Gates Corporation, No. 80217-5887, *Belt Drive Preventive Maintenance & Safety Manual*, Denver, Colorado, 2004.
6. Gates Corporation, No. 80217, *Drive Design Power-Grip*, Denver, Colorado, June, 2004.
7. Gates Corporation, No.19993, *Belt number and Identification Chart Catalog*, Denver, Colorado, 2005.
8. Gates Corporation, No. 80217, *Light power and Precision Design Manual 2005*, Denver, Colorado, 2005.
9. K. Sobczyk, and B. F. Vencer, Jr., *Random Fatigue From Data to Theory*, Academic Press, New York, 1992.
10. Robert L. Mott, *Machine Elements in Mechanical Design*, Prentice Hall, 1999.
11. Robert W. Drake, *Fifty Reports on Mechanical Power Transmission from Motor Drive to Industry*.
12. Wallace D. Erickson, *Belt Selection and Application for Engineers*, Dekker, New York, 1987.
13. 三五橡膠型錄，動力傳動用橡膠帶，三五橡膠廠股份有限公司。
14. 陳京生，陳新明，詹景裕，Excel2000進階技巧-VBA、外部資料存取及Web應用，基峰資訊股份有限公司，1999。

15. 褚靜如，皮帶及滑輪的有限元素模擬，國立成功大學機械研究所，九十四年六月。
16. ベルト伝動技術懇話会編，ベルト伝動の実用設計，東京株式会社養賢堂，1996。



附錄一 馬力轉速圖表製作軟體

■ 簡介

Microsoft Excel 是一個強而有力分析與呈現資料的工具。Excel 使用的巨集語言，在 Excel 5.0 版以後，由於採用 Visual Basic 語言的應用版，亦即 Visual Basic Applications(簡稱 VBA)[14]，為巨集的設計語言，所以巨集是一個程式語言，能夠簡化工作，促進自動化、高效率的程式。使用巨集去完成一項工作，比使用許多的指令去完成同一工作，要來的迅速，而且不容易出錯。大體來說巨集的優點有四：

1. 可以無誤的執行重複性的工作。
2. 可自製專用計算或管理工具及表格。
3. 可設計特種專業工作之應用。
4. 可簡化與其他視窗軟體或某些資料庫軟體之交流。

因此 Visual Basic 為具有彈性與擴增性的巨集語言。在 Visual Basic 的語言架構下，製作 SanWu 馬力轉速圖表應用程式，介面的顯示以 Excel 的工作列方式呈現。將數據與圖表的處理自動化，使馬力轉速圖的製作更簡單。

■ 使用前設定

一般 Excel 的巨集安全性層級設定為高或更高，為了使撰寫的巨集能夠使用，首先，需修改 Excel 安全性層級，將其設定為「中-您可以選擇是否要執行具有潛在危險的巨集」。

修改「安全性」的步驟為：

1. 打開 Microsoft Excel
2. 選取「工具(T)」→「巨集(M)」→「安全性(S)」，如圖 1 所示。
3. 彈出安全性層級選單，將安全性層級設為「中」，如圖 2 所示。
4. 選擇確定後，結束安全性層級設定。
5. 重新關閉 Excel，開啟後安全性設定及自動套用。

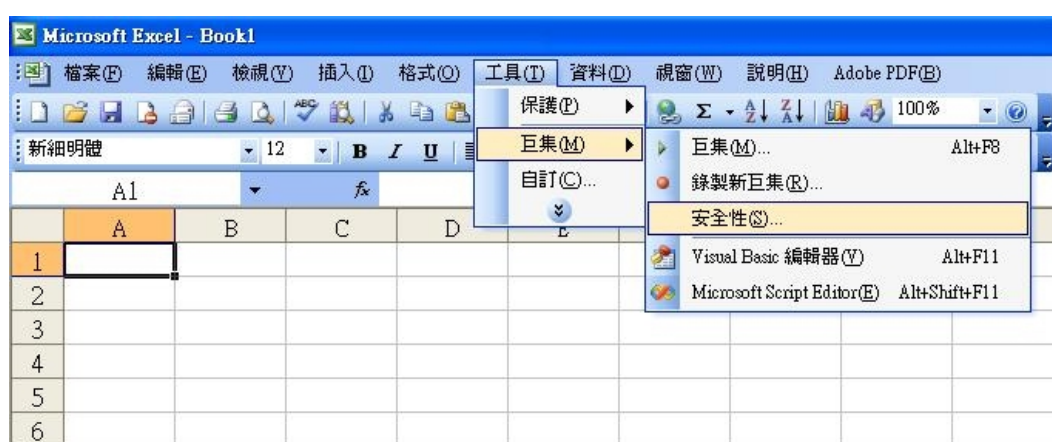


圖 1 安全性路徑

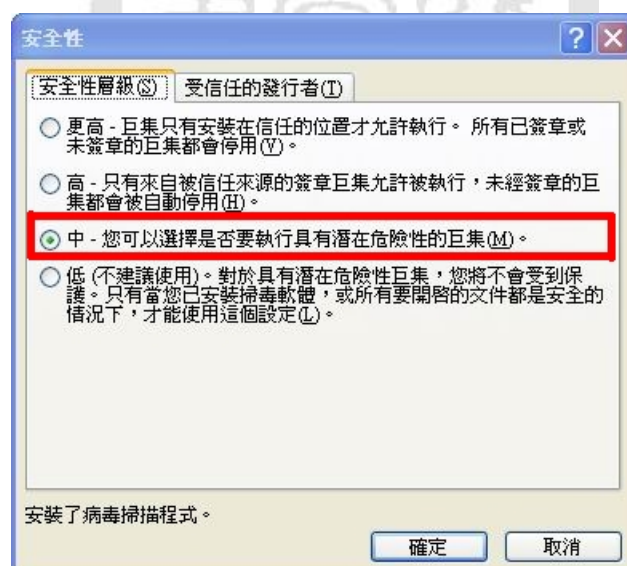


圖 2 安全性層級設定為中級

■ 使用 SanWu 馬力轉速圖表製作軟體

使用「SanWu 馬力轉速圖表製作軟體」時，介面的設計以 Excel 2003 的使用介面為基礎，並修改功能表的指令按鈕，將「SanWu 馬力轉速圖表製作軟體」呈現。介面下的 SPBA 程式控制語言根據功能，設計出符合使用者輸入的

1. 點選 SanWu.xls，點擊打開。
2. 開啟後即彈出「安全性警告」對話框，選擇啟用巨集選項。



圖 3 開啟 SanWu.xls 選取啟用巨集

3. 進入 Excel 介面後，可以看到巨集修改後的功能表，如圖 4 所示。



圖 4 開啟巨集後新功能表列

4. 點選「輸入皮帶資料」→「皮帶表格設置」，如圖 5。將自動建立基本資料表格，如圖 6。
5. 點選「輸入皮帶資料」→「皮帶試驗資料輸入」，如圖 7。彈出是否輸入皮帶資料，如圖 8，預設為「是」，點選「確定」。

6. 接著彈出「皮帶基本資料輸入」對話框，注意對話框最下方的輸入資料形式，「拉伸試驗值」與「疲勞試驗值」，需分別點選輸入，如圖 9，預設的數值為 SPA-2000，若要建立其他型號，如 SPB 則將資料作修改，輸入完成後點選「確定」。
7. 點選「確定」之後將進行至「Sheet2」，並在幕後接著完成皮帶馬力轉速表格式的建立，如圖 10。



圖 5 皮帶表格設置

	A	B	C	E	F
1					
2	輸入			輸出	
3	皮帶類型			E值	
4	皮帶編號			M值	
5	皮帶公稱長度(mm)				
6	皮帶截面積(cm ²)			彎曲力	
7	皮帶線密度(Kg/m)			向心力	
8	皮帶輪直徑(mm)			緊邊張力	
9	線速度(m/s)			峰力值	
10	皮帶楔型角度(Beta)				
11	摩擦係數			N	
12	連體皮帶合成條數			B	
13				A	
14	拉伸試驗值			疲勞破壞張力	
15	最大荷重(Kgf)				
16	最大應變				
17	h值				
18					
19					
20	疲勞試驗值				
21	皮帶試驗時間(hr)				
22	皮帶荷重(Kg)				
23					
24	接觸常數K				
25	預估破壞次數				

圖 6 皮帶基本資料格式

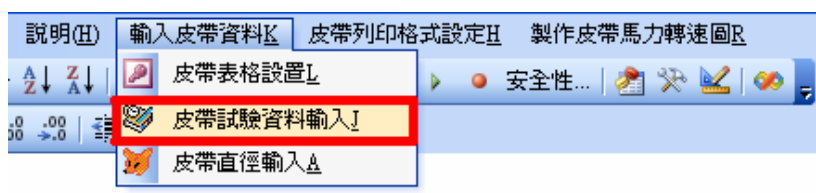


圖 7 皮帶試驗資料輸入

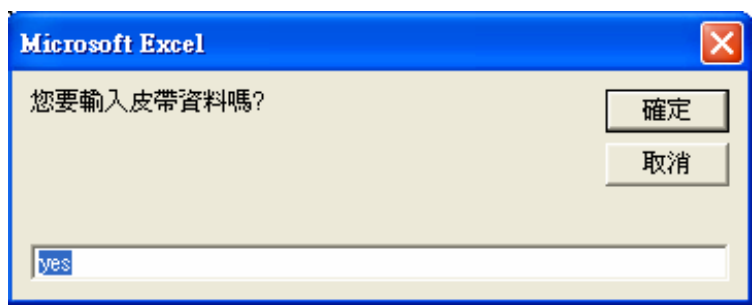


圖 8 是否輸入皮帶基本資料

基本皮帶資料輸入

輸入 皮帶規格

皮帶類型: SPI

皮帶編號: SPA

皮帶公稱長度: 2000 (mm)

皮帶截面積: 0.936 (m²)

皮帶線密度: 0.1237 (Kg/m)

皮帶輪直徑: 180 (mm)

皮帶線速度: 30 (m/s)

皮帶楔型角度: 20 (度)

摩擦係數: 0.167

連體皮帶合成條數: 6 (條)

確定 取消

拉伸試驗值 | 疲勞試驗值

拉伸試驗值

最大荷重: 584 (Kgf)

最大應變: 10.88

h值(皮帶外緣與纖維距離): 1 (mm)

基本皮帶資料輸入

輸入 皮帶規格

皮帶類型: SP

皮帶編號: SPA

皮帶公稱長度: 2000 (mm)

皮帶截面積: 0.936 (m²)

皮帶線密度: 0.1237 (Kg/m)

皮帶輪直徑: 180 (mm)

皮帶線速度: 30 (m/s)

皮帶楔型角度: 20 (度)

摩擦係數: 0.167

連體皮帶合成條數: 6 (條)

確定 取消

拉伸試驗值 | **疲勞試驗值**

疲勞試驗值

	數據一	數據二	
皮帶試驗時間	82	150	(Hr)
皮帶荷重	200	180	(Kg)
接觸常數K	1.276		
破壞次數限制	100000000		(次)

(A) 拉伸試驗值

(B) 疲勞試驗值

圖 9 皮帶基本資料輸入

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	三五馬力轉速表		SPA	資料數				
2	ρ	0.1237	K	1.276	M	52.60294	Tension	1673.39
3								
4	Power	D(mm)						
5	(w)							
6	ω (rpm)							
7	100							
8	200							
9	300							
10	400							
11	500							
12	600							
13	700							
14	800							
15	900							
16	1000							
17	1100							
18	1200							
19	1300							
20	1400							
21	1500							
22	1600							
23	1700							
24	1800							
25	1900							

圖 10 皮帶馬力轉速表格式

8. 點選「輸入皮帶資料」→「皮帶直徑輸入」，如圖 11。彈出是否輸入皮帶直徑對話框，如圖 12，點選「確定」。

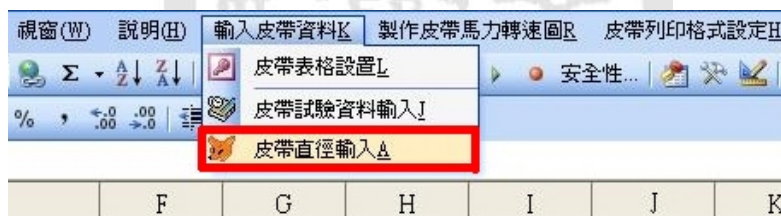


圖 11 皮帶輪直徑輸入

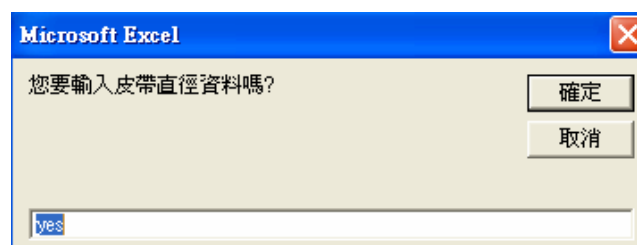


圖 12 是否輸入皮帶輪直徑資料

9. 彈出「型錄直徑規格輸入」對話框，如圖 13。依據所試驗的皮帶輪直徑規格將數值由小至大輸入，每增加一筆資料點選「增加」，若輸入錯誤，則點選「刪除」。輸入數值完成後，點選「關閉」。

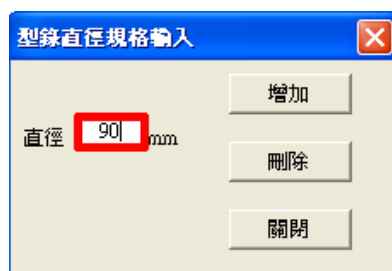


圖 13 型錄直徑規格輸入

10. 皮帶輪直徑輸入完成後，及完成皮帶馬力轉速表的設置，圖 14 為未設定列印格式。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	三五馬力轉速表	SPA	資料數	15							
2	ρ	0.1237	K	1.276	M	52.60294	Tension	1673.39			
3											
4	Power	D(mm)									
5	(w)	90	100	112	118	125	132	140	150	160	180
6	ω (rpm)										
7	100	654.7478	766.5429	900.6952	967.7705	1046.024	1124.277	1213.708	1325.495	1437.28	1660.843
8	200	1309.397	1532.95	1801.199	1935.318	2091.783	2248.242	2427.043	2650.532	2874.003	3320.893
9	300	1963.847	2299.085	2701.322	2902.418	3137.011	3371.581	3639.633	3974.65	4309.613	4979.358
10	400	2618	3064.812	3600.871	3868.848	4181.442	4493.983	4851.103	5297.393	5743.552	6635.444
11	500	3271.757	3829.996	4499.656	4834.385	5224.811	5615.133	6061.081	6618.3	7175.264	8288.359
12	600	3925.018	4594.499	5397.486	5798.805	6266.853	6734.721	7269.193	7936.912	8604.191	9937.31
13	700	4577.685	5358.187	6294.171	6761.885	7307.301	7852.432	8475.068	9252.772	10029.78	11581.5
14	800	5229.658	6120.924	7189.518	7723.402	8345.891	8967.954	9678.331	10565.42	11451.47	13220.15
15	900	5880.838	6882.573	8083.337	8683.131	9382.357	10080.98	10878.61	11874.4	12868.7	14852.45
16	1000	6531.126	7642.998	8975.438	9640.85	10416.43	11191.18	12075.53	13179.25	14280.92	16477.61
17	1100	7180.423	8402.064	9865.628	10596.34	11447.85	12298.26	13268.72	14479.51	15687.58	18094.85
18	1200	7828.63	9159.634	10753.72	11549.36	12476.35	13401.9	14457.81	15774.72	17088.11	19703.37
19	1300	8475.648	9915.573	11639.52	12499.71	13501.67	14501.79	15642.42	17064.43	18481.95	21302.37
20	1400	9121.377	10669.75	12522.83	13447.16	14523.53	15597.62	16822.18	18348.17	19868.56	22891.06
21	1500	9765.719	11422.01	13403.47	14391.47	15541.67	16689.06	17996.72	19625.49	21247.37	24468.66
22	1600	10408.57	12172.24	14281.25	15332.44	16555.84	17775.82	19165.67	20895.93	22617.83	26034.36
23	1700	11049.84	12920.3	15155.97	16269.83	17565.75	18857.57	20328.64	22159.02	23979.38	27587.38
24	1800	11689.43	13666.04	16027.44	17203.43	18571.15	19934.01	21485.28	23414.32	25331.47	29126.92
25	1900	12327.23	14409.34	16895.47	18133.01	19571.77	21004.82	22635.2	24661.35	26673.53	30652.18

圖 14 皮帶馬力轉速表(未設定列印格式)

11.點選「皮帶列印格式設定」→「列印格式」，如圖 15。進行皮帶馬力轉速表的列印格式設定，編寫型錄時此處的列印格式「可自行決定」，此格式設定僅供參考。圖 16 為已設定格式。

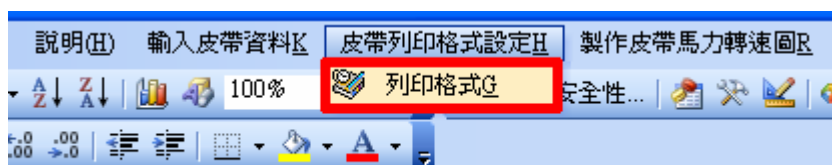


圖 15 馬力轉速表列印格式設置

三五馬力轉速表																
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	三五馬力轉速表		SPA	資料數	15											
2	ρ	0.1237	K	1.2%	M	12.0000	Tension	1673.3002								
3																
4	Power	D(mm)														
5	(w)	90.00	100.00	112.00	118.00	125.00	132.00	140.00	150.00	160.00	180.00	200.00	224.00	250.00	280.00	315.00
6	ω (rpm)															
7	100.00	654.75	766.54	900.70	967.77	1046.02	1124.28	1213.71	1325.50	1437.28	1660.84	1884.40	2152.65	2443.23	2778.49	3169.58
8	200.00	1309.40	1532.95	1801.20	1935.32	2091.78	2248.24	2427.04	2650.53	2874.00	3320.89	3767.71	4303.76	4884.34	5554.00	6334.92
9	300.00	1963.85	2299.08	2701.32	2902.42	3137.01	3371.58	3639.63	3974.65	4309.61	4979.36	5648.84	6451.83	7321.19	8323.53	9491.75
10	400.00	2618.00	3064.81	3600.87	3868.85	4181.44	4493.98	4851.10	5297.39	5743.55	6635.44	7526.71	8595.30	9751.68	11094.12	12635.84
11	500.00	3271.76	3830.00	4499.66	4834.39	5224.81	5615.13	6061.08	6618.30	7175.26	8288.36	9400.23	10732.67	12173.67	13832.76	15762.94
12	600.00	3925.02	4594.50	5397.49	5798.81	6266.85	6734.72	7269.19	7936.91	8604.19	9937.31	11268.31	12862.40	14585.03	16566.49	18868.78
13	700.00	4577.69	5358.19	6294.17	6761.89	7307.30	7852.43	8475.07	9252.77	10029.78	11581.90	13129.87	14982.96	16983.66	19282.31	21949.13
14	800.00	5229.66	6120.92	7189.52	7723.40	8345.89	8967.95	9678.33	10469.42	11351.47	13220.15	14983.82	17092.82	19367.41	21977.24	24999.74
15	900.00	5880.84	6882.57	8083.34	8683.13	9382.36	10080.98	10878.61	11874.40	12868.70	14832.45	16829.06	19190.46	21734.17	24648.30	28016.36
16	1000.00	6531.13	7643.00	8975.44	9640.85	10416.43	11191.18	12075.53	13179.25	14280.92	16477.61	18664.52	21274.35	24081.81	27252.49	30994.73
17	1100.00	7180.42	8402.06	9865.63	10596.34	11447.85	12298.26	13268.72	14479.51	15687.58	18094.85	20489.10	23342.96	26408.21	29906.85	33930.61
18	1200.00	7828.63	9159.63	10753.72	11549.36	12476.35	13401.90	14437.81	15744.72	17088.11	19703.37	22301.71	25394.76	28711.25	32488.37	36819.73
19	1300.00	8475.65	9915.57	11679.32	12499.71	13501.67	14501.79	15642.42	17044.43	18481.95	21302.37	24101.28	27428.22	30688.79	35044.09	39637.91
20	1400.00	9121.38	10669.75	12522.83	13447.16	14523.53	15597.62	16822.18	18348.17	19868.56	22891.06	25886.71	29441.82	33238.72	37541.01	42440.82
21	1500.00	9765.72	11422.01	13403.47	14391.47	15541.67	16689.06	17996.72	19623.49	21247.37	24468.66	27656.91	31434.03	35458.92	40006.15	45164.24
22	1600.00	10408.57	12172.24	14281.25	15332.44	16535.84	17775.82	19165.67	20895.93	22617.83	26034.36	29410.80	33403.32	37647.25	42426.32	47823.93
23	1700.00	11049.84	12920.30	15155.97	16269.83	17565.75	18857.57	20328.64	22159.02	23979.38	27587.38	31147.28	35348.17	39801.99	44799.15	50415.64
24	1800.00	11689.43	13666.04	16027.44	17203.43	18571.15	19974.01	21485.28	23414.32	25331.47	29126.92	32865.28	37267.04	41919.82	47121.04	52935.10
25	1900.00	12327.23	14409.34	16895.47	18173.01	19571.77	21004.82	22635.20	24661.35	26677.53	30632.18	34563.70	39158.40	43999.82	49389.22	55378.09
26	2000.00	12963.15	15150.05	17759.88	19058.34	20567.35	22069.69	23778.03	25899.67	28005.01	32162.39	36241.46	41020.74	46079.46	51600.69	57740.34
27	2100.00	13597.08	15888.04	18620.47	19979.20	21537.61	23128.31	24913.40	27128.82	29525.35	33656.73	37897.47	42832.51	48076.62	53732.48	60017.61
28	2200.00	14228.94	16623.18	19477.04	20895.37	22542.30	24380.36	26404.93	28748.33	30634.00	35134.43	39530.63	44632.20	49989.17	55841.60	62205.64
29	2300.00	14858.61	17355.33	20329.42	21806.63	23521.15	25325.53	27360.26	29557.74	31930.41	36594.69	41139.88	46418.27	51804.98	57865.06	64300.20
30	2400.00	15486.01	18084.35	21177.40	22693.89	24563.51	26527.01	28714.61	31076.60	33214.00	38036.71	42724.10	48149.20	53751.94	59619.89	66297.03
31	2500.00	16111.02	18804.11	22020.79	23613.52	25540.26	27593.99	29972.81	32644.45	34484.23	39459.70	44282.23	49843.53	55557.92	61703.09	68191.87
32	2600.00	16733.56	19532.47	22859.42	24508.69	26419.99	28516.64	30645.28	33120.83	35404.94	40682.87	45813.16	51499.52	57310.80	63511.68	69980.49
33	2700.00	17353.52	20251.30	23693.07	25398.06	27372.81	29531.17	31848.05	34285.28	36982.37	42245.42	47315.82	53115.85	59008.45	65242.69	71638.63
34	2800.00	17970.81	20966.45	24521.57	26281.40	28318.47	30537.26	32820.76	35437.34	38209.16	43606.57	48789.12	54690.93	60648.75	66897.11	73222.05
35	2900.00	18585.32	21677.80	25344.72	27158.49	29256.69	31534.59	33883.01	36576.56	39420.37	44945.53	50231.96	56223.22	62229.57	68459.98	74666.49
36	3000.00	19196.96	22385.21	26162.33	28029.09	30187.22	32522.86	34974.45	37702.46	40615.42	46261.48	51643.26	57711.21	63748.79	69940.70	75987.70
37	3100.00	19805.62	23088.54	26974.22	28893.00	31109.78	33501.74	35974.69	38814.61	41793.77	47533.66	53021.94	59153.75	65204.28	71331.09	77181.45
38	3200.00	20411.21	23787.65	27780.18	29749.98	32024.10	34420.94	36803.38	39712.53	42694.86	48821.25	54366.90	60448.13	66593.93	72629.38	78243.47
39	3300.00	21013.64	24482.41	28580.03	30599.82	32929.93	35230.12	37720.12	40695.77	44008.13	50063.48	55677.06	61894.01	67915.60	73832.16	79169.51
40	3400.00	21612.79	25172.69	29373.58	31442.28	33827.00	36178.99	38624.56	42063.87	45223.03	51279.94	56951.33	63189.48	69165.18	74936.46	79955.34
41	3500.00	22208.57	25858.35	30160.63	32277.15	34715.04	37117.23	39616.31	43116.36	46328.99	52468.64	58188.62	64432.99	70466.53	75939.29	80596.70
42	3600.00	22800.88	26539.24	30941.00	33104.20	35593.79	38044.32	40575.00	44152.80	47415.47	53629.99	59387.85	65623.02	71451.54	76837.68	81089.33
43	3700.00	23389.62	27215.24	31714.49	33923.21	36462.97	38960.56	41560.27	45172.73	48481.89	54762.81	60547.92	66758.04	72480.08	77628.63	81429.00
44	3800.00	23974.70	27886.22	32480.92	34733.96	37322.34	39865.03	42711.73	46175.67	49527.72	55866.28	61667.76	67836.54	73430.02	78309.16	81611.45
45	3900.00	24556.01	28532.02	33240.08	35536.21	38171.61	40757.62	43649.02	47161.18	50532.38	56979.63	62746.26	68856.96	74259.25	78876.29	81632.44
46	4000.00	25133.46	29175.87	34000.00	36360.00	39000.00	41630.00	44471.76	48152.80	51555.33	57869.06	63782.36	69817.80	75087.63	79327.00	81483.71

圖 16 皮帶馬力轉速表(已設定列印格式)

12.點選「製作皮帶馬力轉速圖」→「皮帶馬力轉速圖繪製」，如圖

17。進行皮帶馬力轉速圖繪製於「Chart1」，如圖 18。



圖 17 皮帶馬力轉速圖繪製

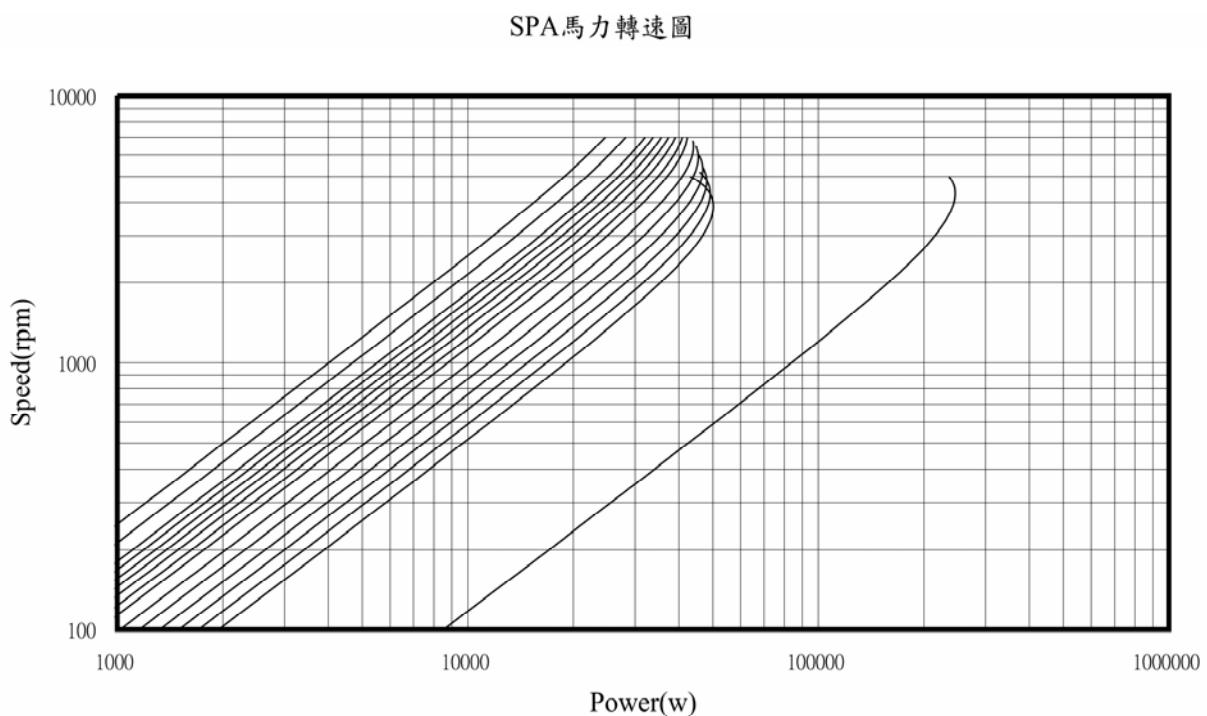


圖 18 皮帶馬力轉速圖

13.完成後將檔案另存，檔名根據型號與皮帶長度作修改。如 SanWu_SPA-2000。SanWu_HP- ω 檔案屬性為唯讀，避免修改原本程式設計，所以一定要「另存新檔」才可以製作出不同的皮帶馬力轉速數據圖表。如圖 19。

14.建立型錄時，將圖重疊建立完整圖表，可利用 Microsoft Office Visio 將圖做重疊處理，找出適當的馬力轉速圖。

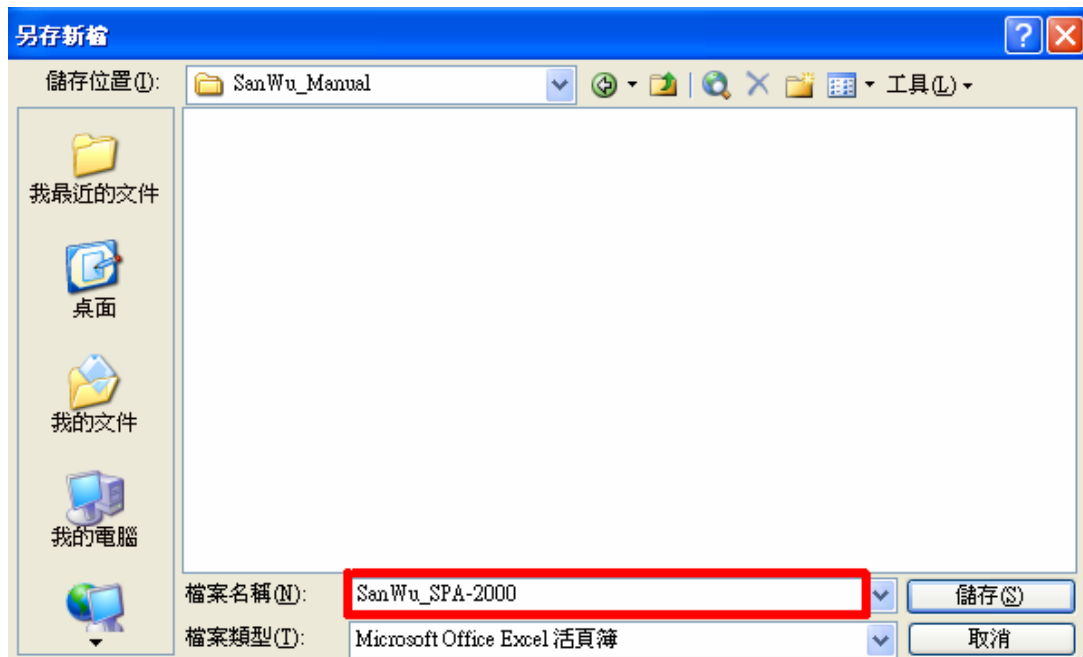


圖 19 另存新檔

■ 範例說明-SPZ

選擇 SanWu_V 型皮帶，利用 SanWu 馬力轉速圖表製作軟體，製作一系列馬力轉速圖表的資料。

軟體使用前準備資料：

V 型皮帶所需的資料如表 1 所示。

利用 SanWu 馬力轉速圖表製作軟體製作 V 型皮帶馬力轉速圖（以下簡稱「SanWu.exe」），其步驟如下：

1. 根據軟體操作說明，調整完安全性設定，進入軟體資料輸入模式。
2. V 型皮帶的基本機械性質，經過測試之後得到表，從表中可以得知 V 型皮帶下分為 SPZ、SPA、SPB、SPC。皮帶規範列中在皮帶型號下，還指定了試驗時所使用的標準皮帶長度，如 SPZ-950，試驗長度為 950mm。

表 1 V 型皮帶試驗資料

V 型皮帶				
皮帶規範	SPZ-950	SPA-2000	SPB-3000	SPC-5000
線密度	0.0735	0.1237	0.204	0.364
面積	0.567	0.936	1.465	2.781
皮帶輪直徑	180	180	280	400
最大荷重	398	584	943	1719
最大應變	11.37	10.88	11.95	12.9
疲勞時間 1	3.5	150	187.5	-
皮帶荷重 1	120	180	100	-
疲勞時間 2	6	82	22.5	-
皮帶荷重 2	100	200	180	-
h 值	0.769	1	1.23	1.69

3. 剛開始先選用 SPZ 這組的資料輸入至「SanWu.exe」，流程皆根據使用說明。
4. 點選「輸入皮帶資料」→「皮帶表格設置」，如圖 20。將自動建立基本資料表格，如圖 21。
5. 點選「輸入皮帶資料」→「皮帶試驗資料輸入」，如圖 22。彈出是否輸入皮帶資料，如圖 23，預設為「是」，點選「確定」。
6. 接著彈出「皮帶基本資料輸入」對話框，注意對話框最下方的輸入資料形式，「拉伸試驗值」與「疲勞試驗值」，需分別點選輸入，如圖 24，預設的數值為 SPA-2000，此處建立 SPZ-950，將資料作修改。
7. 除了 V 型所限制的「線速度」、「楔形角度」、「摩擦係數」、「接觸常數」維持不變，聯體皮帶合成條數設定值為 5，表示聯體皮帶的最大合成條數值，根據實際情況可以做適當的更改。

8. 破壞次數的限制規範，主要根據調整馬力轉速圖裡各編號的區塊位置，若試驗的圖表沒有符合從左至右皮帶截面積逐漸增加的趨勢，則可以由此處做適當調整。破壞次數的預設值為 10^8 為其上限，調整時不可大於此數值。若區塊偏左表示破壞次數過大，可減少破壞次數使圖形區塊偏右。破壞次數的特性為，當數值越大表示此皮帶編號的安全性越高，使用的時間越持久。其他數據資料根據表決定，輸入完成後點選「確定」。



圖 20 皮帶表格設置

	A	B	C	E	F
1					
2	輸入			輸出	
3	皮帶類型			E值	
4	皮帶編號			M值	
5	皮帶公稱長度(mm)				
6	皮帶截面積(cm ²)			彎曲力	
7	皮帶線密度(Kg/m)			向心力	
8	皮帶輪直徑(mm)			緊邊張力	
9	線速度(m/s)			峰力值	
10	皮帶楔型角度(Beta)				
11	摩擦係數			N	
12	連體皮帶合成條數			B	
13				A	
14	拉伸試驗值			疲勞破壞張力	
15	最大荷重(Kgf)				
16	最大應變				
17	h值				
18					
19					
20	疲勞試驗值				
21	皮帶試驗時間(hr)				
22	皮帶荷重(Kg)				
23					
24	接觸常數K				
25	預估破壞次數				

圖 21 皮帶基本資料格式

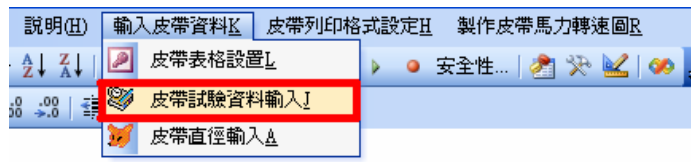


圖 22 皮帶試驗資料輸入

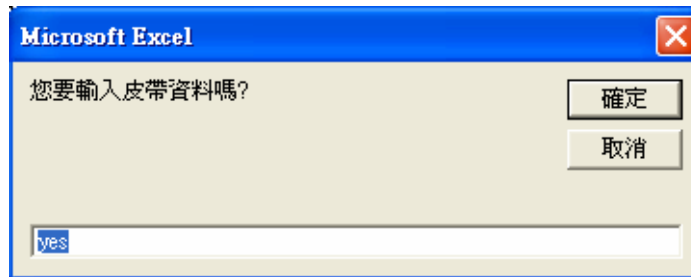


圖 23 是否輸入皮帶基本資料

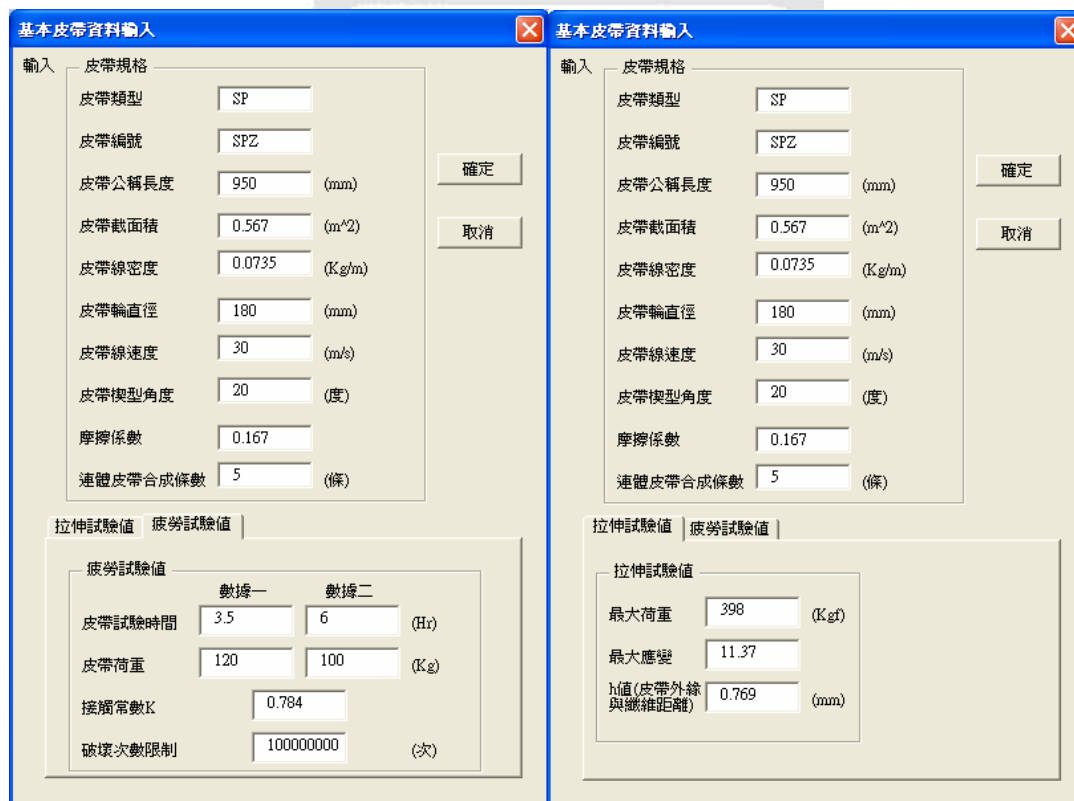


圖 24 皮帶基本資料輸入

9. 點選「確定」之後將進行至「Sheet2」，並在幕後接著完成皮帶馬力轉速表格式的建立，如圖 25。

- 10.點選「輸入皮帶資料」→「皮帶直徑輸入」，如圖 26。彈出是否輸入皮帶直徑對話框，如圖 27，點選「確定」。

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	三五馬力轉速表	SPZ	資料數	資料數	資料數	資料數	資料數	資料數
2	ρ	0.0735	K	0.784	M	26.38001	Tension	717.4493
3								
4	Power (w)	D(mm)						
5								
6	ω (rpm)							
7	100							
8	200							
9	300							
10	400							
11	500							
12	600							
13	700							
14	800							
15	900							
16	1000							
17	1100							
18	1200							
19	1300							
20	1400							
21	1500							
22	1600							
23	1700							
24	1800							
25	1900							
26	2000							

圖 25 皮帶馬力轉速表格式

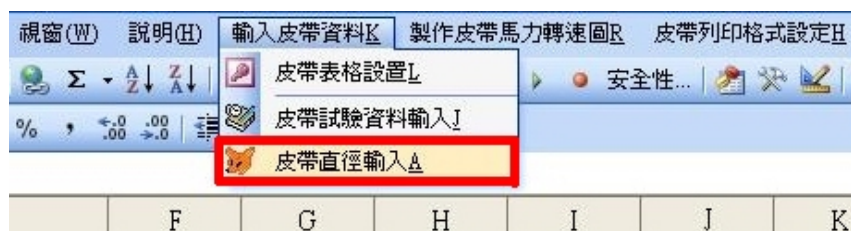


圖 26 皮帶輪直徑輸入

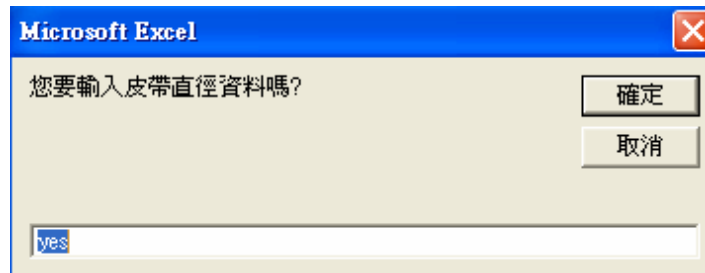


圖 27 是否輸入皮帶輪直徑資料

- 11.彈出「型錄直徑規格輸入」對話框，如圖 28。依據所試驗的皮帶輪直徑規格將數值由小至大輸入，此處將 SPZ 的皮帶輪由小至大輸入，由 56mm~200mm，如表所示。每增加一筆資料點選「增加」，若輸入錯誤，則點選「刪除」。輸入數值完成後，點選「關閉」。
- 12.皮帶輪直徑輸入完成後，及完成皮帶馬力轉速表的設置，圖 29 為未設定列印格式。
- 13.點選「皮帶列印格式設定」→「列印格式」，如圖 30。進行皮帶馬力轉速表的列印格式設定，編寫型錄時此處的列印格式「可自行決定」，此格式設定僅供參考。圖 31 為已設定格式。
- 14.點選「製作皮帶馬力轉速圖」→「皮帶馬力轉速圖繪製」，如圖 32。進行皮帶馬力轉速圖繪製於「Chart1」，如圖 33。
- 15.完成後將檔案另存，檔名為 SanWu_SPZ-950。「SanWu.exe」屬性為唯讀，避免修改原本程式設計，所以一定要「另存新檔」，如此則可製作出不同的皮帶馬力轉速數據圖表。如圖 34。
- 16.建立型錄時，可利用 Microsoft Office Visio 將圖做重疊處理，先將 SPZ 的圖的區塊用色筆畫出，如圖 35。並將此區塊平移至原先準備好大小相同的空白皮帶馬力轉速圖上，如圖 36。如此重複步驟，將 SPA、SPB、SPC 的區塊圖重疊，建立完整圖表找出

適當的馬力轉速圖，如圖 37。

圖 28 型錄直徑規格輸入

表 2 SPZ 皮帶輪規範

皮帶規範	選 取 pulley 由 最 小 至 最 大 排 列
SPZ	56、60、63、67、71、75、80、85、90、95、100、112、125、140、160、180、200

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
三五馬力轉速表	SPZ	資料數	17										
ρ	0.0735	K	0.784	M	26.38001	Tension	717.4493						
Power	D(mm)												
(w)	56	60	63	67	71	75	80	85	90	95	100	112	125
ω (rpm)													
100	56.63604	68.41626	77.2514	89.03154	100.8116	112.5917	127.3166	142.0415	156.7662	171.4908	186.2154	221.5537	259.836
200	113.2634	136.8218	154.4904	178.0481	201.6055	225.1624	254.6078	284.0524	313.4962	342.9391	372.3811	443.0377	519.575
300	169.8732	205.2059	231.7046	267.0349	302.3638	337.6912	381.8482	426.0025	470.1539	514.3023	558.4476	664.3822	779.1202
400	226.457	273.5578	308.8815	355.9769	403.0689	450.1572	509.0123	567.861	626.703	685.5379	744.3652	885.5175	1038.375
500	283.0059	341.8669	386.0088	444.8591	503.7029	562.5395	636.0748	709.5977	783.1074	856.6032	930.0842	1106.374	1297.241
600	339.5112	410.1224	463.074	533.6668	604.248	674.8171	763.0103	851.182	939.3309	1027.456	1115.555	1326.882	1555.623
700	395.9642	478.3135	540.0648	622.3848	704.6866	786.969	889.7932	992.5834	1095.337	1198.053	1300.728	1546.971	1813.423
800	452.3561	546.4296	616.9687	710.9984	805.0009	898.9744	1016.398	1133.771	1251.09	1368.352	1485.554	1766.572	2070.545
900	508.6784	614.4599	693.7734	799.4926	905.173	1010.812	1142.8	1274.716	1406.554	1538.311	1669.983	1985.616	2326.892
1000	564.9222	682.3938	770.4663	887.8524	1005.185	1122.462	1268.973	1415.385	1561.692	1707.887	1853.965	2204.032	2582.365
1100	621.0789	750.2204	847.0352	976.063	1105.02	1233.902	1394.892	1555.751	1716.469	1877.038	2037.45	2421.751	2836.87
1200	677.1397	817.9291	923.4675	1064.109	1204.659	1345.112	1520.532	1695.78	1870.847	2045.72	2220.39	2638.702	3090.308
1300	733.0959	885.5092	999.7509	1151.977	1304.085	1456.07	1645.866	1835.444	2024.791	2213.892	2402.734	2854.817	3342.583
1400	788.9387	952.9499	1075.873	1239.65	1403.28	1566.756	1770.871	1974.712	2178.265	2381.511	2584.433	3070.026	3593.598
1500	844.6596	1020.241	1151.821	1327.114	1502.227	1677.15	1895.519	2113.553	2331.232	2548.533	2765.437	3284.258	3843.256
1600	900.2497	1087.37	1227.584	1414.354	1600.907	1787.229	2019.786	2251.937	2483.656	2714.918	2945.697	3497.444	4091.46
1700	955.7004	1154.329	1303.147	1501.356	1699.303	1896.973	2143.647	2389.834	2635.502	2880.622	3125.163	3709.515	4338.113
1800	1011.003	1221.105	1378.5	1588.103	1797.397	2006.361	2267.076	2527.212	2786.733	3045.602	3303.784	3920.4	4583.118
1900	1066.148	1287.688	1453.629	1674.582	1895.171	2115.372	2390.047	2664.041	2937.312	3209.817	3481.513	4130.031	4826.378
2000	1121.128	1354.067	1528.523	1760.778	1992.607	2223.986	2512.536	2800.292	3087.204	3373.223	3658.298	4338.336	5067.796
2100	1175.934	1420.232	1603.168	1846.675	2089.688	2332.18	2634.516	2935.932	3236.372	3535.777	3834.091	4545.247	5307.276
2200	1230.557	1486.172	1677.553	1932.258	2186.397	2439.935	2755.963	3070.933	3384.78	3697.439	4008.842	4750.694	5544.72
2300	1284.988	1551.876	1751.664	2017.513	2282.714	2547.23	2876.85	3205.263	3532.393	3858.164	4182.501	4954.606	5780.031
2400	1339.218	1617.224	1825.401	2102.425	2378.622	2654.042	2997.152	3328.802	3670.172	4017.01	4355.018	5156.015	6012.112

圖 29 皮帶馬力轉速表(未設定列印格式)

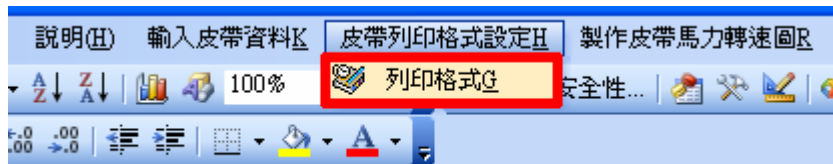


圖 30 馬力轉速表列印格式設置

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
三馬力轉速表	SPZ	資料數	17														
ρ	0.0735	K	0.784	M	26.38	Tension	717.45										
Power (w)	D(mm)																
ω (rpm)																	
100.00	56.64	68.42	77.25	89.03	100.81	112.59	127.32	142.04	156.77	171.49	186.22	221.55	259.84	304.01	362.90	421.79	480.67
200.00	113.26	136.82	154.49	178.05	201.61	225.16	254.61	284.05	313.50	342.94	372.38	443.04	519.58	607.88	725.59	843.28	960.95
300.00	169.87	205.21	231.70	267.03	302.36	337.69	381.85	426.00	470.15	514.30	558.45	664.38	779.12	911.47	1087.88	1264.20	1440.43
400.00	226.46	273.56	308.88	355.98	403.07	450.16	509.01	567.86	626.70	685.54	744.37	885.52	1078.37	1214.66	1449.56	1684.25	1918.72
500.00	283.01	341.87	386.01	444.86	503.70	562.54	636.07	709.60	783.11	856.60	930.08	1106.37	1297.24	1517.31	1810.42	2103.44	2395.42
600.00	339.51	410.12	463.07	533.67	604.25	674.82	763.01	851.18	939.33	1027.46	1115.56	1326.88	1555.62	1819.27	2170.27	2520.59	2870.13
700.00	395.96	478.31	540.06	622.38	704.69	786.97	889.79	992.58	1095.34	1198.05	1300.73	1546.97	1813.42	2120.42	2528.90	2936.30	3342.47
800.00	452.36	546.43	616.97	711.00	805.00	898.97	1016.40	1133.77	1251.09	1368.35	1485.55	1766.57	2070.55	2420.61	2886.11	3349.98	3812.02
900.00	508.68	614.46	693.77	799.49	905.17	1010.81	1142.80	1274.72	1406.55	1538.31	1669.98	1985.62	2326.89	2719.72	3241.69	3761.35	4278.40
1000.00	564.92	682.39	770.47	887.85	1005.19	1122.46	1268.97	1415.39	1561.69	1707.89	1853.96	2204.03	2582.37	3017.59	3595.44	4170.11	4741.20
1100.00	621.08	750.22	847.04	976.06	1105.02	1233.90	1394.89	1555.75	1716.47	1877.04	2037.45	2421.75	2836.87	3314.11	3947.16	4575.97	5200.04
1200.00	677.14	817.93	923.47	1064.11	1204.66	1345.11	1520.53	1695.78	1870.85	2045.72	2220.39	2638.70	3090.31	3609.13	4296.64	4978.66	5654.50
1300.00	733.10	885.51	999.75	1151.98	1304.09	1456.07	1645.87	1835.44	2024.79	2213.89	2402.73	2854.82	3342.58	3902.51	4643.68	5377.87	6104.20
1400.00	788.94	952.95	1075.87	1239.65	1403.28	1566.76	1770.87	1974.71	2178.26	2381.51	2584.43	3070.03	3593.60	4194.13	4988.08	5773.31	6548.74
1500.00	844.66	1020.24	1151.82	1327.11	1502.23	1677.15	1895.52	2113.55	2331.23	2548.53	2765.44	3284.26	3843.26	4483.83	5329.63	6164.71	6987.73
1600.00	900.25	1087.37	1227.38	1414.35	1600.91	1787.23	2019.79	2251.94	2483.66	2714.92	2945.70	3497.44	4091.46	4771.30	5668.13	6551.76	7420.75
1700.00	955.70	1154.33	1303.15	1501.36	1699.30	1896.97	2140.65	2389.83	2635.50	2880.62	3125.16	3709.52	4338.11	5056.98	6003.39	6994.18	7947.43
1800.00	1011.00	1221.10	1378.30	1588.10	1797.40	2006.36	2267.08	2527.21	2786.73	3045.60	3303.78	3920.40	4583.12	5340.15	6335.18	7311.68	8267.35
1900.00	1066.15	1287.69	1453.63	1674.58	1895.17	2115.37	2390.05	2664.04	2937.31	3209.82	3481.51	4130.03	4826.38	5620.87	6663.32	7683.98	8680.13
2000.00	1121.13	1354.07	1528.52	1760.78	1992.61	2223.99	2512.54	2800.29	3087.20	3373.22	3658.30	4338.34	5067.80	5899.00	6987.59	8050.77	9085.36
2100.00	1175.93	1420.23	1603.17	1846.67	2089.69	2332.18	2634.52	2935.93	3236.37	3535.78	3834.09	4545.25	5307.28	6174.41	7307.80	8411.77	9482.65
2200.00	1230.56	1486.17	1677.55	1932.26	2186.40	2439.94	2755.96	3070.93	3384.78	3697.44	4008.84	4730.69	5544.72	6446.96	7623.74	8766.70	9871.60
2300.00	1284.99	1551.88	1751.66	2017.51	2282.71	2547.23	2876.85	3205.26	3532.39	3858.16	4182.50	4954.61	5780.03	6716.51	7935.20	9115.25	10251.81
2400.00	1339.22	1617.33	1825.49	2102.42	2378.62	2654.04	2997.15	3338.89	3679.17	4017.91	4355.02	5156.92	6013.11	7082.93	8241.99	9457.15	10622.91
2500.00	1393.24	1682.53	1899.02	2186.98	2474.11	2760.35	3116.85	3471.79	3825.09	4176.64	4526.34	5357.55	6243.87	7346.08	8543.91	9792.10	10994.47
2600.00	1447.04	1747.47	1972.24	2271.16	2569.14	2866.14	3235.90	3603.93	3970.09	4334.30	4696.43	5556.44	6472.20	7595.82	8840.74	10119.82	11336.10
2700.00	1500.62	1812.12	2045.13	2354.95	2663.72	2971.38	3354.30	3735.27	4114.16	4490.85	4865.22	5753.52	6698.01	7922.28	9244.01	10677.41	12087.41
2800.00	1553.96	1876.48	2117.69	2438.34	2757.82	3076.06	3472.01	3865.79	4257.25	4646.26	5032.68	5948.72	6921.21	8141.56	9418.34	10752.39	12100.00
2900.00	1607.06	1940.55	2189.91	2521.31	2851.42	3180.15	3589.01	3995.46	4399.33	4800.47	5198.74	6141.96	7141.69	8263.27	9508.70	10856.66	12227.47
3000.00	1659.90	2004.30	2261.76	2603.85	2944.30	3283.63	3705.28	4124.24	4540.35	4953.45	5363.37	6333.19	7399.36	8508.04	9797.17	11132.34	12635.42
3100.00	1712.49	2067.73	2333.24	2685.94	3037.05	3386.49	3820.78	4252.11	4680.30	5105.16	5526.51	6522.32	7574.12	8748.72	10041.54	11369.73	12931.47
3200.00	1764.80	2130.83	2404.34	2767.57	3129.05	3488.70	3935.49	4379.03	4819.12	5255.54	5688.11	6709.28	7785.87	8985.17	10303.60	11617.95	13215.20
3300.00	1816.83	2193.59	2475.03	2848.72	3220.49	3590.23	4049.39	4504.98	4956.78	5404.57	5848.12	6894.02	7994.53	9217.27	10579.17	12186.91	13486.24
3400.00	1868.58	2255.99	2545.32	2929.37	3311.33	3691.08	4162.45	4629.92	5093.25	5552.19	6006.49	7076.46	8199.98	9444.88	10808.02	12446.32	13744.16
3500.00	1920.03	2318.03	2615.19	3009.52	3401.58	3791.21	4274.65	4753.83	5228.49	5698.36	6163.17	7256.52	8402.14	9667.86	11049.96	12695.88	13988.59
3600.00	1971.17	2379.69	2684.62	3089.15	3491.20	3890.61	4385.95	4876.67	5362.46	5843.04	6318.12	7434.15	8600.91	9886.06	11484.79	12935.32	14219.13
3700.00	2022.01	2440.97	2753.61	3168.24	3580.18	3989.26	4496.35	4996.41	5495.13	5986.19	6471.28	7609.26	8796.19	10099.37	11712.30	13164.33	14435.37
3800.00	2072.51	2501.85	2822.14	3246.78	3668.30	4087.13	4605.80	5119.02	5626.46	6127.77	6622.61	7781.80	8967.88	10307.64	11932.29	13382.64	14636.91
3900.00	2122.69	2562.32	2890.19	3324.75	3756.15	4184.21	4714.29	5238.48	5736.42	6237.73	6732.05	7951.69	9175.89	10510.73	12144.55	13589.95	14823.37
4000.00	2172.53	2622.37	2957.77	3402.14	3843.11	4280.47	4821.78	5356.75	5884.96	6406.03	6919.55	8118.85	9360.11	10708.51	12348.88	13785.97	14994.35
4100.00	2222.02	2682.00	3024.84	3478.93	3929.35	4375.89	4928.26	5473.80	6012.06	6542.63	7065.07	8283.23	9540.46	10900.84	12545.08	13970.41	15149.44
4200.00	2271.15	2741.18	3091.41	3555.11	4014.87	4470.45	5033.70	5589.39	6137.67	6677.48	7208.55	8444.75	9716.84	11087.59	12732.95	14142.98	15288.26
4300.00	2319.92	2799.92	3157.45	3630.66	4099.64	4564.14	5138.07	5704.11	6261.77	6810.55	7349.95	8603.34	9889.14	11268.62	12912.28	14303.40	15410.40
4400.00	2368.31	2858.20	3222.96	3705.57	4183.65	4656.92	5241.35	5817.32	6384.31	6941.78	7489.22	8758.93	10057.28	11443.80	13082.87	14451.37	15515.46
4500.00	2416.31	2916.00	3287.93	3779.83	4266.87	4748.79	5343.51	5929.19	6505.26	7071.15	7626.30	8911.45	10221.15	11612.98	13244.51	14586.60	15603.06
4600.00	2463.93	2973.32	3352.34	3853.41	4349.30	4839.71	5444.53	6039.68	6624.57	7198.60	7761.14	9060.84	10380.65	11776.03	13397.01	14708.81	15672.79
4700.00	2511.14	3030.15	3416.17	3926.30	4430.91	4929.66	5544.37	6148.78	6742.23	7324.09	7893.71	9207.02	10535.70	11932.82	13540.15	14817.71	15724.25
4800.00	2557.06	3086.47	3479.43	3998.59	4511.60	5019.64	5643.03	6256.44	6858.18	7447.58	8023.04	9340.00	10668.50	12063.51	13673.74	14933.00	15783.06

圖 31 皮帶馬力轉速表(已設定列印格式)

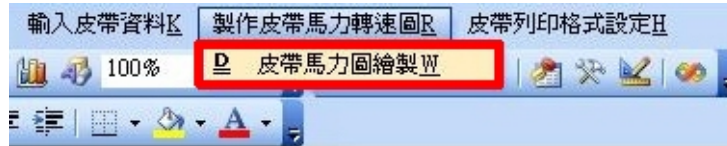


圖 32 皮帶馬力轉速圖繪製

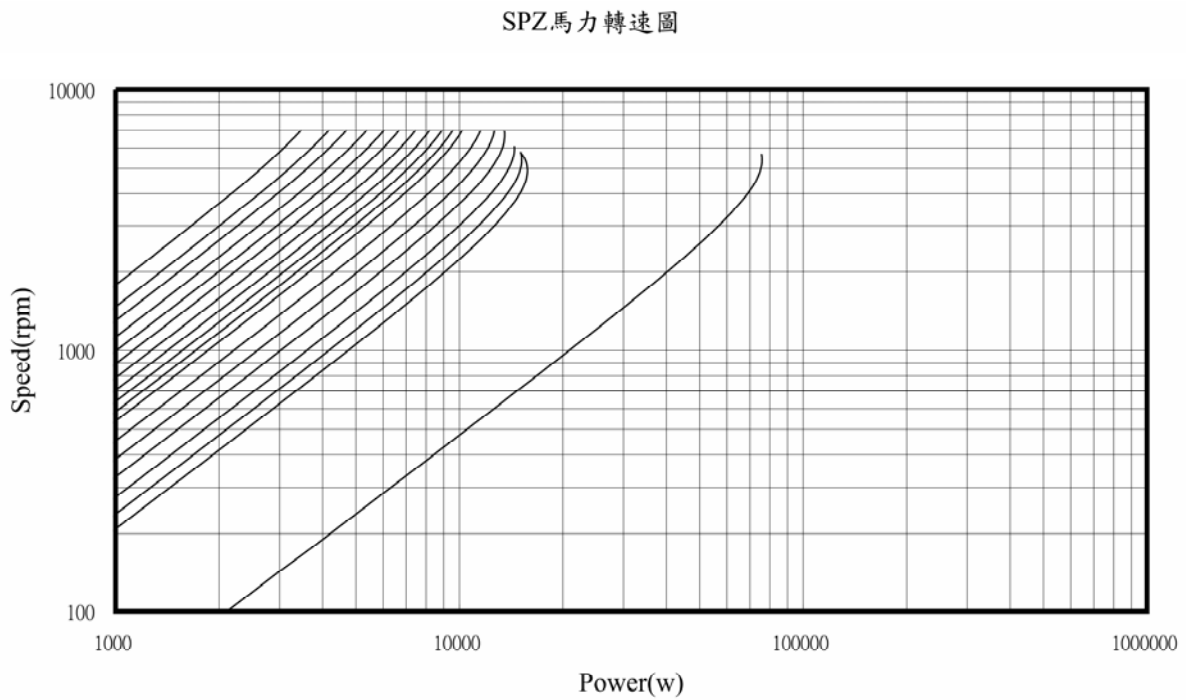


圖 33 SPZ 皮帶馬力轉速圖

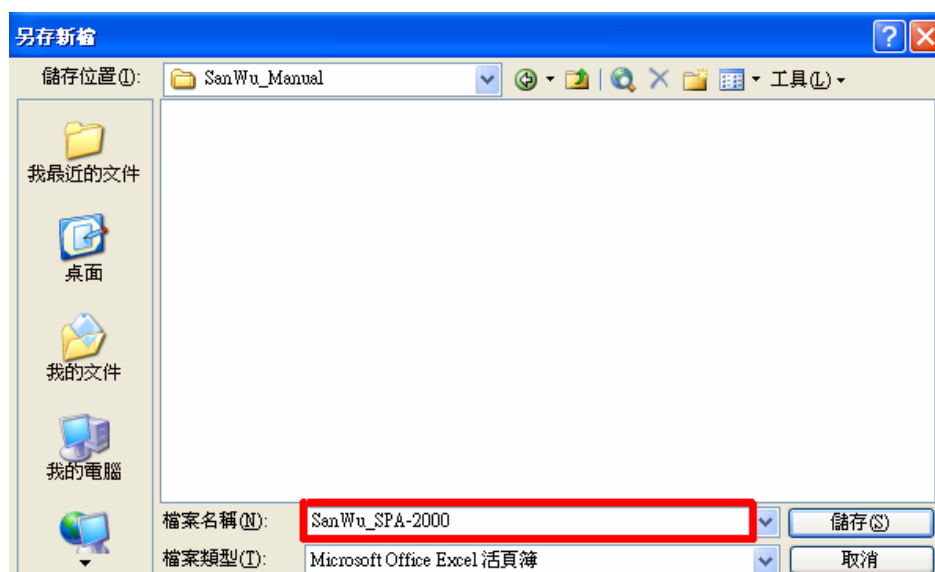


圖 34 另存新檔為 SanWu_SPZ-950

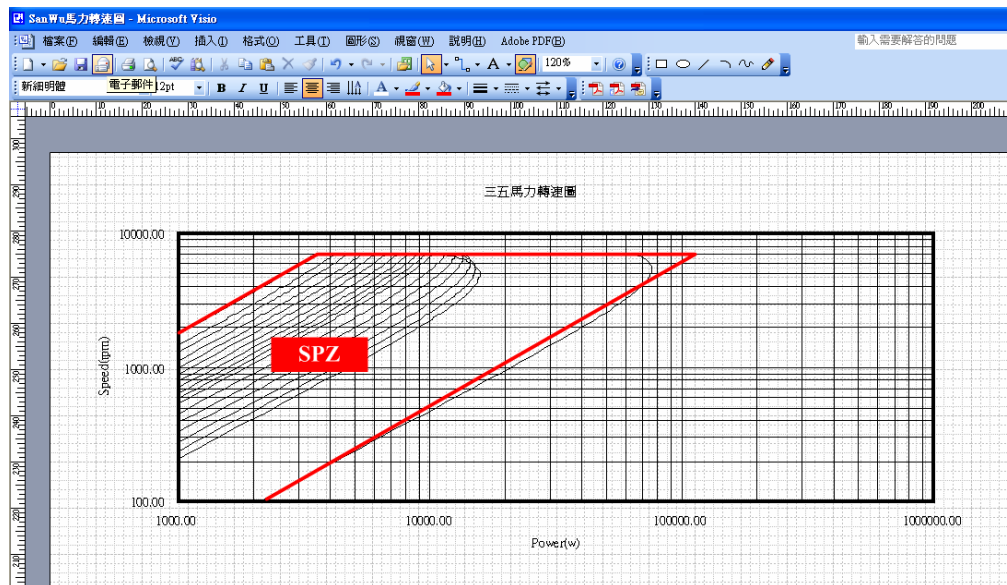


圖 35 SPZ 區塊圖

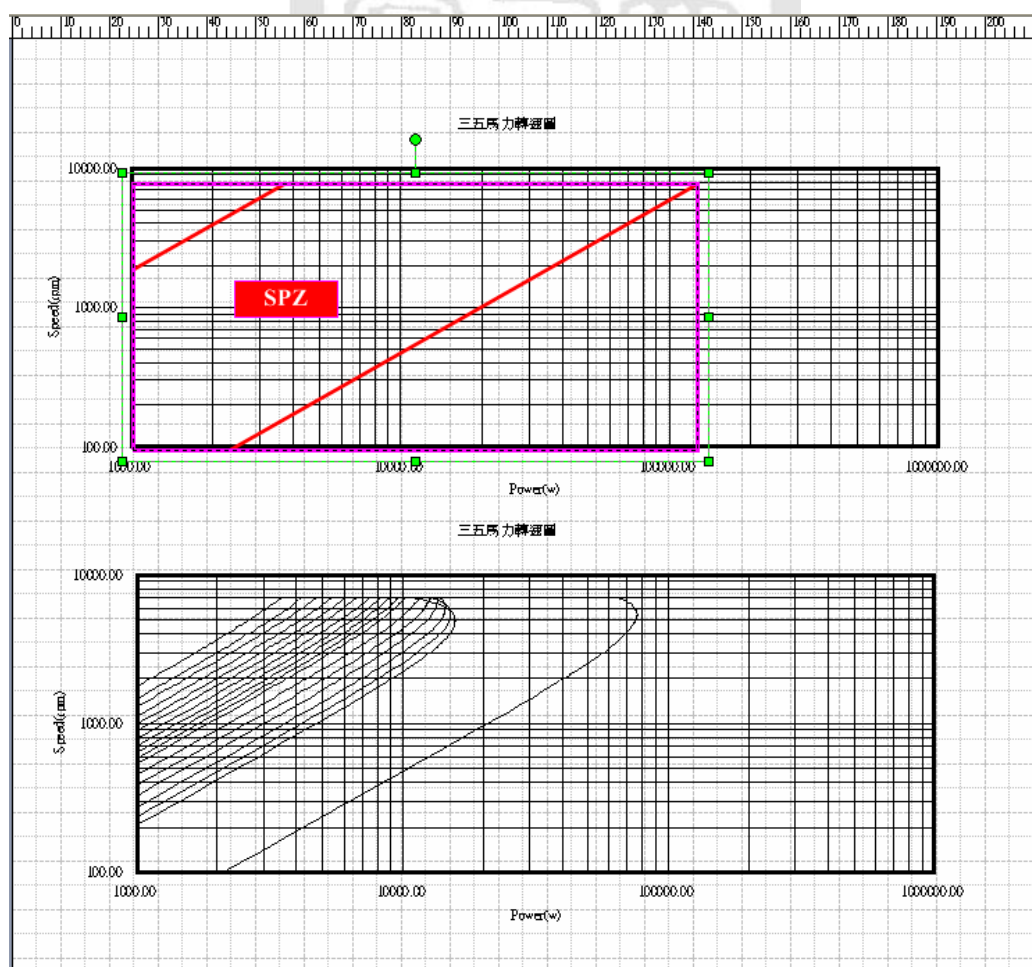


圖 36 空白馬力轉速圖與 SPZ 區塊圖平移結果

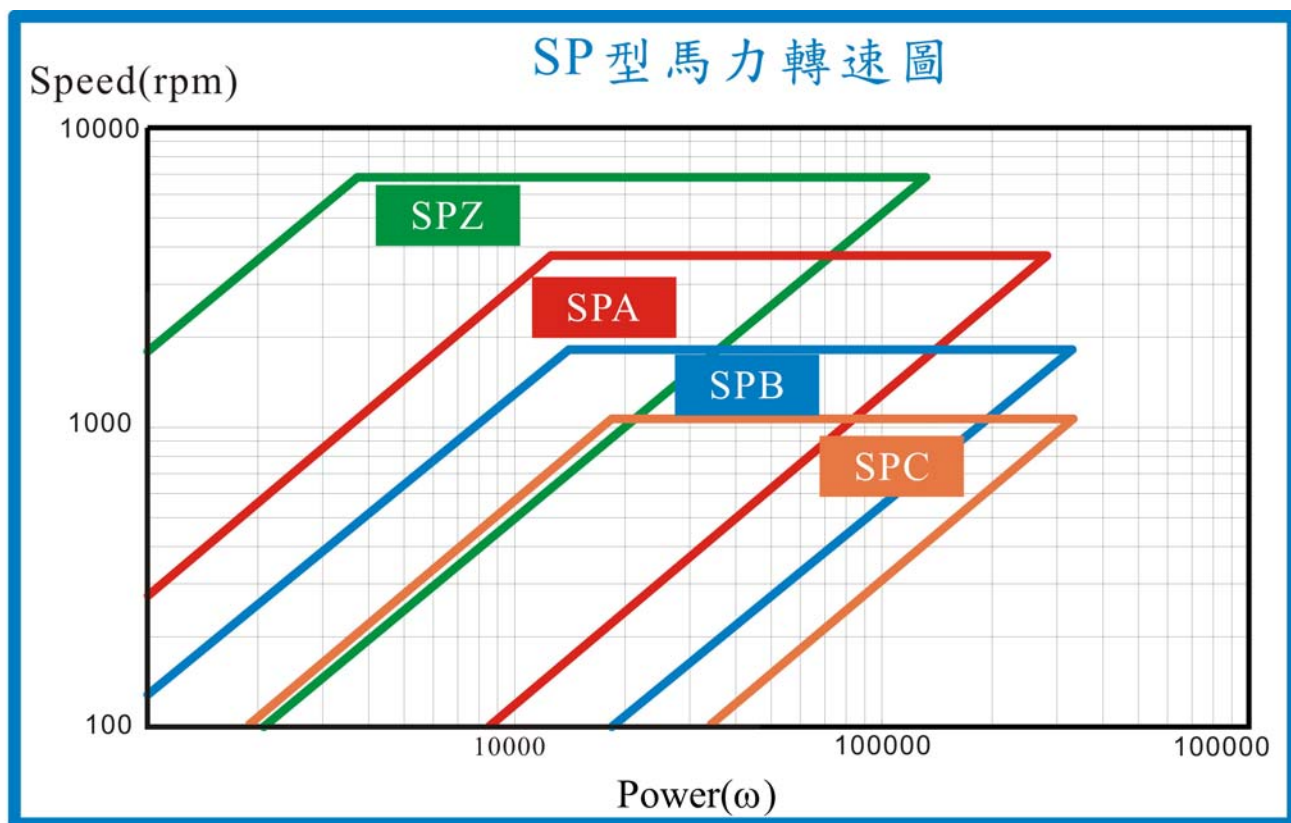


圖 37 V 型皮帶馬力轉速圖

附錄二 十噸拉力測試機規格

機台承製供應商：駿諺精機股份有限公司

機台名稱：萬能材料試驗機—10 噸拉力測試儀

機台編號：CY-6040A

校正編碼與校正單位：CY93M204、工研院量測中心校正。

設備概況：

1. 電腦基本配備：

- a. 個人電腦 AT/16 位元 (IBM 相容性) CPU-80286
- b. 主記憶體 (RAM)：1M Byte (640KB)
- c. 輔助記憶體：5 1/4 DISK X 2
- d. 顯示界面：MGP 顯示界面卡
- e. 鍵盤：101 鍵
- f. 顯示器：單色顯示影幕
- g. 電源供應器：220V
- h. 作業系統：DOS 3.3 版以上
- i. 輸入輸出界面：並列輸出輸入 × 1
- j. 拉力/壓力測試程式
- k. 訊號轉換控制器：
 - (1) 荷重感應器 (Sensor)
 - (2) 編碼器 (Encoder)
 - (3) 訊號轉換收集器 (Data Collector)

2. 基本功能：執行拉力/壓力測試程式，可得下列資料

- a. 降伏點 (yielding point) 降伏強度

- b. 0.2% offset 降伏點、降伏強度
- c. 抗拉強度
- d. 伸長率
- e. 耗費能量
- f. 楊氏係數
- g. 斷裂係數
- h. 最大值
- i. 斷裂值
- j. 變型量 1 (力量→伸長)
- k. 變形量 2 (伸長→力量)
- l. X-Y 曲線圖
- m. X-T 曲線圖
- n. 曲線圖比較
- o. 平均值



附錄三 皮帶耐久測試機規格

機台承製供應商：三五橡膠廠股份有限公司機械原動課自行設計。

機台名稱：皮帶耐久測試機

機台編號：S-12-870920

校正與保養：由公司機械原動課做例行性保養與檢查。

設備概況：

1. 如附件皮帶耐久試驗組立圖。
2. 其附件可依所擬測試的規格開立所擬測試的皮帶輪。
3. 另增設變頻器（日本富士 5HP 3 相 220V）可依需要調整傳動輪
（驅動輪）的轉速。
4. 荷重可依試驗事實之需求由 10kg 增至 200kg。
5. 另增 UNITTA U-507 sonic tension meter 張力計（日製），可定時或視需要做傳動期間的張力測試。
6. 功能：
 - a. 可安裝 A、B、C、D、M、SPZ、SPA、SPB、SPC、3V、5V、8V 等各型的皮帶，測試各種不同試驗條件皮帶。
 - b. 配合張力計適時視需要做張力量測。
 - c. 可設定時限做定時的皮帶耐久損壞情形的對比。

自述

姓名：朱恩毅(Chu En-Yi)

籍貫：屏東縣

生日：71 年 3 月 17 日

學歷：屏東中學、成功大學機械系、成功大學機械所

住址：屏東縣萬丹鄉萬惠村中興路二段 659 巷 31 號

電話：0955155061

Email：n1694154@gmail.com