

行政院原子能委員會  
委託研究計畫研究報告

前瞻型中小型風機系統研究

**Advanced research on the small and medium wind turbine system**

計畫編號：992001INER055

受委託機關(構)：國立高雄海洋科技大學

計畫主持人：胡穗樂 副教授、吳景凱 副教授

核研所聯絡人員：蘇煒年

聯絡電話：03-4711400 分機 3655

E-mail address：wnsu@iner.gov.tw

報告日期：99 年 11 月 30 日

## 目 錄

目 錄.....	I
中文摘要.....	1
ABSTRACT.....	2
壹、計畫緣起與目的.....	3
貳、研究方法與過程.....	4
一、永久磁鐵材料簡介.....	4
二、理論公式.....	8
三、模擬軟體環境介紹及步驟.....	10
(一)、靜態模擬執行操作.....	10
(二)、動態模擬執行操作.....	21
四、實驗步驟與項次.....	29
(一)、磁浮抗重盤規格.....	29
(二)、實驗步驟.....	31
參、主要發現與結論.....	33
一、模擬軟體所得數據.....	34
二、動態模擬所得之間距與重量關係值.....	36
三、各類數據比較.....	42
四、結論.....	46
肆、參考文獻.....	47

## 中文摘要

本計畫案之研究主旨乃針對「垂直軸風力發電機」的「磁浮載重磁盤」內部磁塊，以不同間距配合有、無「轉位角」及針對其轉速作「磁抗力」與「抗重」作模擬分析，進而結合其實際運作時狀況，探討其穩定性。研究進行之方式，主要是依其實體結構，由上、下載盤之「環狀磁塊」區分為八等份之面積、體積、大小之磁塊，並以相同模式嵌入磁盤，再以 Ansoft Maxwell 3D (磁浮分析軟體)，依據永久磁鐵之相吸、斥力原理進行，更進一步檢視整體「風力發電之機組」各零件之負荷。

關鍵詞：垂直軸風力發電機、矯頑力、剩磁

## **Abstract**

The purpose of this project is to simulate and analyze the "magnetic resistance" and "Anti-weight" characteristics owing to speed change in the Maglev-load-disk's inner magnets of the "vertical axis wind turbines" by providing various gap values along with/without the "transaction-angle". Most importantly, combining with the practical operation to explore and gain stable data. Furthermore, in order to examining and calculating the load of "vertical axis wind turbines" in whole, the analysis is on the basis of its physical structure starting from the identical area, volume, and size of eight equal portions in the up-side and down-side load disks of "ring magnets", then continuously embedding different magnet disk with same procedure. Ultimately, according to the original principle of permanent magnet (attraction/repulsion) by using Ansoft Maxwell 3D (magnetic analysis software) to accomplish the work.

Keywords: Vertical axis wind turbines, Coercive force, Residual flux density

## 壹、計畫緣起與目的

台灣四面環海，為典型海島型國家，目前發電現況大多都依靠核能廠供電，少部份之小功率、家電則依靠太陽能補給電量，這突顯出台灣對替代能源這一塊思維，仍有很大進步空間，影響的因素包含：機械裝置的架設、經濟成本、地型考量、環境(保)與技術等種種因素，雖說生質能源目前也是替代能源重點之一，但使用範圍大多限制在燃料這一部份，且運用在發電方面仍有技術、成本方面之考量。台灣海運、漁業事業發達，海洋資源充足，若能充分利用，定能達到節能減碳之目的，而風力發電機若能架設在西部沿海、澎湖地區（台灣年平均風速 5~6m/s）等地，發電潛能可望達 9KMW，倘若未來大力架設於海用船隻，前瞻性將更不容小覷。

台灣風力發電計畫，已於 2004 年 4 月奉經濟部核定，風力廠址包括：彰工風力、雲林麥寮、台西、四湖等廠址，共計 63 部風機，總裝置容量為 12.6 萬 KW，已於 2007 年底前興建完成。另有澎湖湖西風力風機共 6 部，約 0.51 萬 KW，亦於 2006 年興建完成。此外，德商英華威公司於 2005 年 3 月中旬在苗栗縣興設的竹南及大鵬風場（總裝置容量為 98MW），也早於 2005 年年底開始運轉發電【1】。

風力發電機垂直軸及水平軸之比較可總結如下：

1. 水平軸式風力發電機最大的優點就是輸出效率高，垂直軸式風力發電機效率較沒水平軸來的高。
2. 水平軸式風力發電機受限於地形，其架設地點受極大限制；垂直軸式風力發電機其構造簡單，發電機組可安裝於地，因此可降低塔架與機身的成本與維修的花費。

3. 水平軸式風力發電機只能擷取單一方向的風，垂直軸式風力發電機能夠擷取各種方向的風能。
4. 噪音方面，水平軸式風力發電機比垂直軸式風力發電機來的大。
5. **軸承方面**，兩者共同的問題，即遇到風速大的情況下，軸承需受較大之側向力，且不易控制葉片的擷風面，因此無法控制當風速過高的情況下停機，導致發電機的軸承在強風時轉速過快而損毀【2】。

垂直軸式風力發電風機因軸心所承受較大的重力，為改善其缺失需加裝磁浮減重裝置來增加轉動效率，因磁浮抗重機構，是一個非接觸性地維持兩物體之間的相對運動，可以減少一般傳統機械傳動所造成的摩擦損耗、噪音、震動以及減輕軸與底座所承受之重量，且所承受之重力可借由磁力的相斥力傳給機座，進而使轉動效率提升，轉動更順暢提高發電量。同時因無摩擦損耗、噪音、震動及羽量化的設計使垂直軸式風力發電風機壽命大大的延長。

## 貳、研究方法與過程

本研究的研究方法與實驗步驟，其步驟如下：1. 使用本研究相關的計算公式，計算各排列組合之永磁體相斥力量，2. 利用套裝軟體進行磁力模擬分析，3. 執行實驗步驟。

### 一、永久磁鐵材料簡介

Nd-Fe-B 系永磁體是一種能量密度極高的永磁體，它可以高效率地在能量與訊息之間相互轉換，而其本身能量並不消耗。

Nd-Fe-B 在 1983 年分別由美國及日本發明燒結體（如圖 2.1）及快淬體，由 Fe 65%、Nd 33%、B 1.2% 的比例研製而成，其最大磁能積可達 400 kJ/m<sup>3</sup>，工作溫度在 100°C~150°C 範圍之內，而中國在 1985 年將燒結、熱變形、黏結永磁材料整合成稀土鐵系永磁材料，年產量自 1996 年超越日本，居世界首位。中國稀土資源儲量約為 12000 萬噸（稀土氧化物 REO），佔世界稀土資源 70~80%。

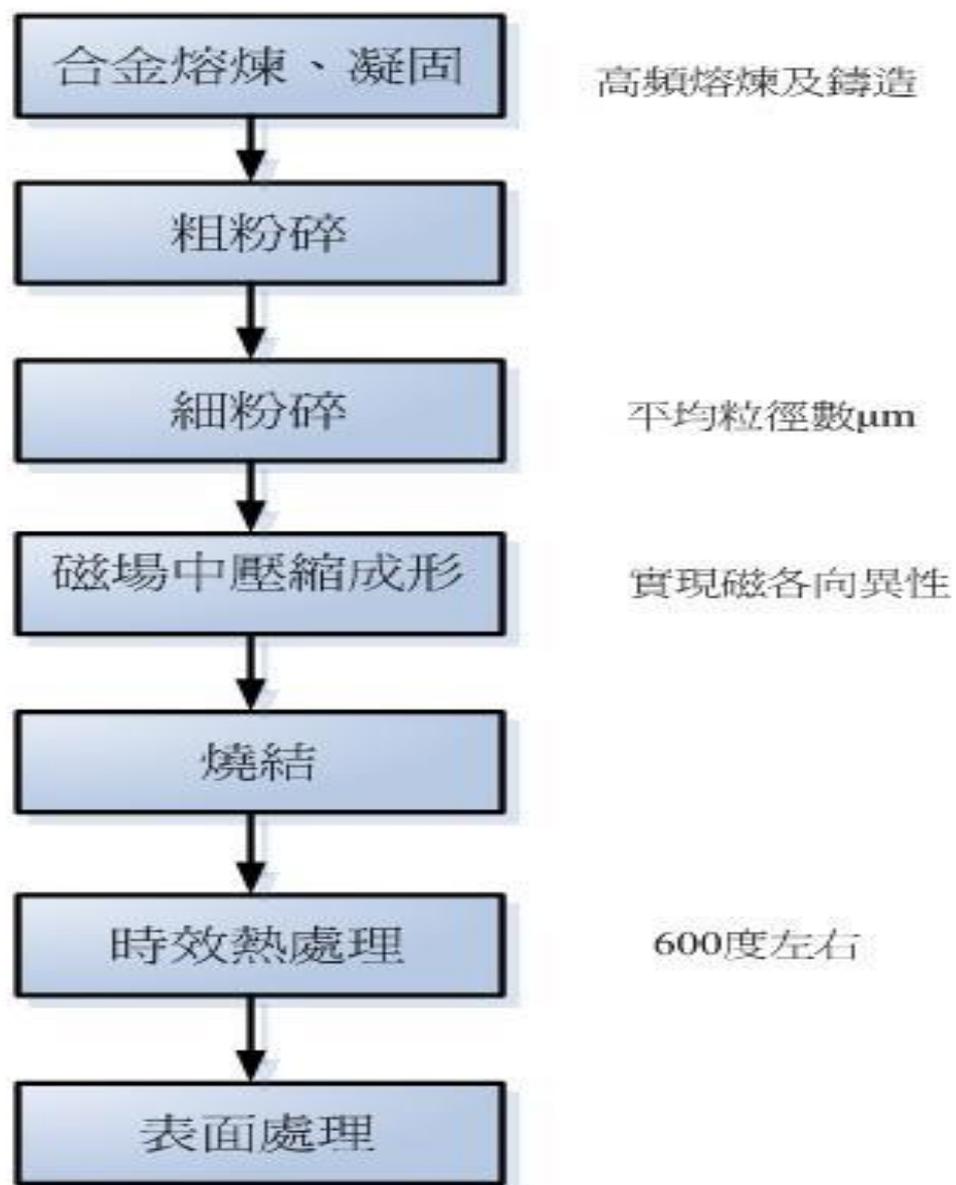


圖 2.1: Nd-Fe-B 系燒結磁體製造流程

由圖 2.2 可看出永久磁鐵的主軸為不斷提高 $(B-H)_{\max}$  性能這一領域，來說明與磁材發展。磁化功即磁能積 (BH) 是外磁場對永磁場作的功，對於開路永磁體來說，磁化功有部分能量儲存於磁鐵內部。Nd-Fe-B 算是近代永磁發展中目前擁有最大磁能積 $(B-H)_{\max}$  之永磁材料，雖然壽命仍待觀察，但從 1983 年使用自今，其內部 $(B-H)_{\max}$ 、 $H_c$ 、 $B_r$  等值變化不大，可見穩定度已備受肯定【3】。

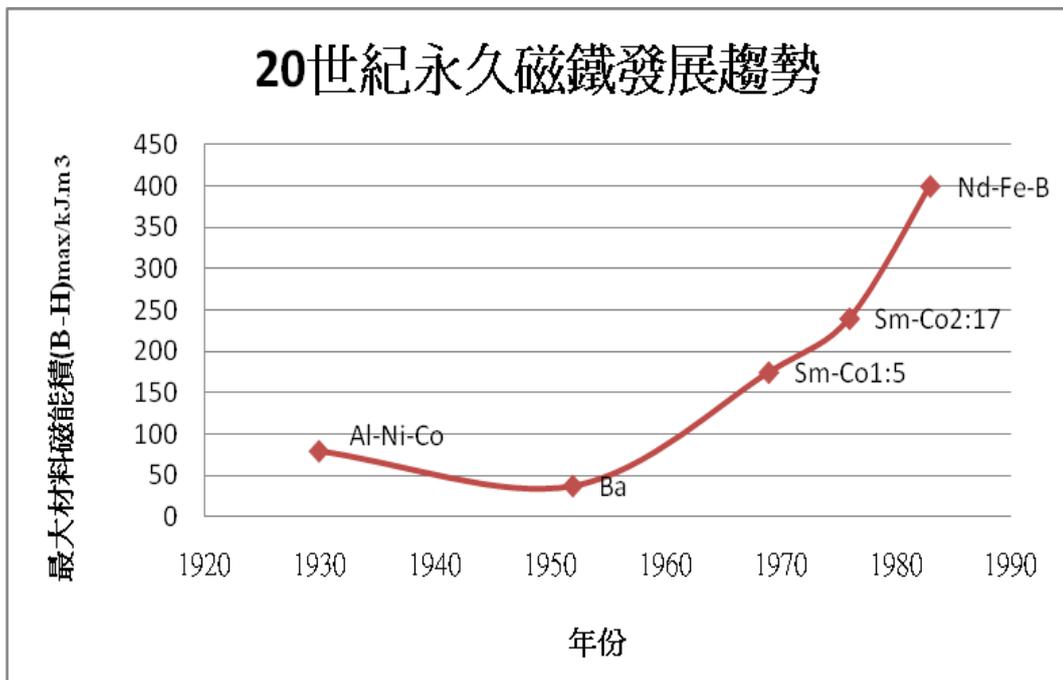


圖 2.2: 二十世紀永久磁鐵發展趨勢

長久以來，永磁材料發展非常迅速，運用也越來越廣泛，與一般軟磁鐵不同具有高剩磁、高矯頑力、高磁能積等特性，適合研製高性能、小型化、輕型化的各種換代產品，而目前工業應用上最普遍的永久磁石包括：

#### 1、Ba 鐵氧體永磁(Ferrite Magnet)

透過陶瓷工藝方法製造而成，鐵氧體是以氧化鐵為主要成分的磁性氧化物，軟磁性材料的剩磁較弱，而且容易去磁。適用於需要反復磁化的場合，此類材料磁性能低，最大磁能積在 7~38kJ/m<sup>3</sup>，但由於價廉，所以用途廣泛，通常運用於磁電式儀錶、揚聲器、話筒、永磁電機等電器設備中【4】。

## 2、鋁鎳鈷永磁(Alnico Magnet)

鋁鎳鈷的優點是其溫度係數小，因而受溫度變化而引起的磁性能變化很小。其最高工作溫度可達 450°C—650°C。故目前仍被廣泛應用於儀器、儀表這類要求溫度穩定性高的產品中，鋁鎳鈷永磁材料的抗鏽蝕能力較強，不需進行表面塗層處理，鋁鎳鈷材料比釹鐵硼永磁更具耐溫性，耐溫最高可達 650 度，最大磁能積在 10~80 kJ/m<sup>3</sup> 的範圍【5】。

## 3、鈰鈷稀土永磁(SmCo Magnet)

這類材料是由粉末冶金技術製造的，可分為第一代鈰鈷比例 1：5 與第二代鈰鈷比例 2：17，鈰鈷 1：5 最大磁能積為 175 kJ/m<sup>3</sup>，鈰鈷 2：17 最大磁能積為 190 kJ/m<sup>3</sup>，具有很好的溫度性能，可以在 250°C~350°C 溫度環境，因此這種永磁材料的磁穩定性最好，很適合用來製造各種高性能的永磁電機及工作環境十分複雜的應用產品。另外，鈰鈷永磁材料的抗鏽蝕能力極強，其表面一般不需進行塗層處理。但由於鈰鈷永磁材料中的主要成份鈰在地球上的儲藏量僅為 300 噸左右，故其價格是十分昂貴的【6】。

## 二、理論公式

利用公式計算出磁浮抗重機構之磁抗力，在許多的磁驅動機器當中都必須要計算磁力與磁力矩，在磁浮軸承當中就必須計算磁吸力或是磁斥力、以本研究將計算出兩磁浮抗重盤之磁斥力，以得磁浮抗重盤之最大抗力，理論上在同極磁性的磁吸力與磁斥力應該是相同，以下將介紹磁盤斥力的計算。

$$F_j = - \frac{\partial W}{\partial q_j} \dots\dots\dots (1)$$

公式(1)中的  $F_j$  …… 在  $j$  方向的磁力。

$q_j$  …… 在  $j$  方向的座標。

$W$  …… 工作磁間隙中的磁能。

工作氣隙( $W$ )中的總磁能為下列兩個式子所表示：

$$W = \frac{B_z^2}{2\mu_0} V = \frac{B_z^2}{\mu_0} S_c L_d \dots\dots\dots (2)$$

如果是利用高斯單位

$$W = \frac{B_z^2}{4\pi} S_c L_d \dots\dots\dots (3)$$

式中的  $B_z$  為磁間隙中的磁感應強度、 $L_d$  為磁間隙、 $S_c$  為永磁體的磁面積。

再利用上面(2)、(3)式代入第(1)式可得到：

$$F = - \frac{\partial W}{\partial q_j} = - \frac{B_z^2 S_c}{\mu_0} \quad or \quad F = - \frac{B_z^2 S_c}{4\pi}$$

而式中的負號為磁吸力，利用上面兩式即可得到磁間隙中的磁力，更進一步可得到單位面積的磁力大小。而單位面積的磁力大小可利用下列兩式子來表示：

$$F_i = \frac{B_z^2}{2\mu_0} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$F_i = \frac{B_z^2}{8\pi} \quad \dots\dots\dots (5)$$

公式(4)中的  $F_i$  磁極對導體的單位面積上的磁力單位為  $N/m^2$ ， $B_z$  為磁間隙的磁感強度，其單位為  $T$ ， $\mu_0$  為真空導磁率，其值為

$$4\pi \times 10^{-7} H/m$$

公式(5)中的  $F_i$  磁極對導體的單位面積上的磁力單位為  $\text{dyn}/\text{cm}^2$ ，為磁間隙的磁感強度，其單位為  $G_s$ 。

對於電磁鐵磁吸力與磁斥力是相同的，但是在永磁體中期相斥的力量必須在矯頑力夠大的情況下才可用磁吸力公式，一般來說利用永磁體計算相斥力量都會使用下列公式：

$$B_z = \sqrt{B_r H_c} \left( 1 - \frac{L_d/D}{\sqrt{1+(L_d/D)^2}} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

上式中乃是磁感強度與磁場強度，而  $L_d$  為磁間隙， $D$  為單位面積。

在利用(5)式代入(6)式得到：

$$F_0 = \frac{B_z^2}{8\pi} = \frac{B_r H_c}{8\pi} \left(1 - \frac{L_d/D}{\sqrt{1+(L_d/D)^2}}\right)^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

利用公式(7)即可計算出本研究磁浮抗重盤的磁抗力【7】。

### 三、模擬軟體環境介紹及步驟

#### (一)、靜態模擬執行操作

由於需要了解磁浮抗重盤之磁抗力，故需做靜態模擬分析，而靜態模擬乃是模擬靜磁狀況下各磁浮抗重盤磁能的變化，其操作步驟如下：

##### 1. 繪製模擬設計圖

利用 Solid Works 繪製磁塊排列圖到軟體內進行模擬分析，由於 Ansoft Maxwell 3D 軟體之繪圖功能較弱，故於 Solid Works 繪圖軟體中依磁盤規格繪製圖形匯出為相容之圖形格式，再匯入軟體中進行模擬分析，如圖 2.3、圖 2.4、圖 2.5 所示，乃是本研究環狀八磁塊排列有轉位角、無轉位角、抗重盤組磁盤排列之設計圖。

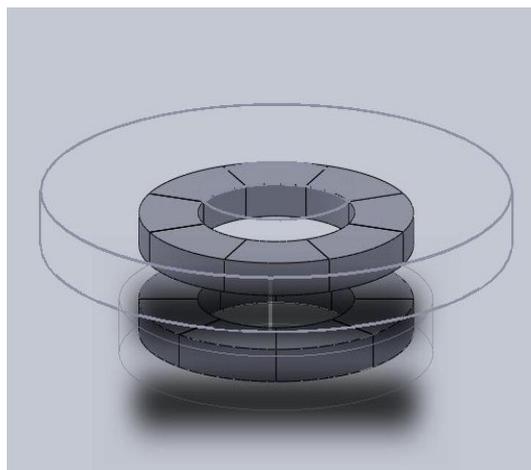


圖 2.3: 磁塊有轉位角

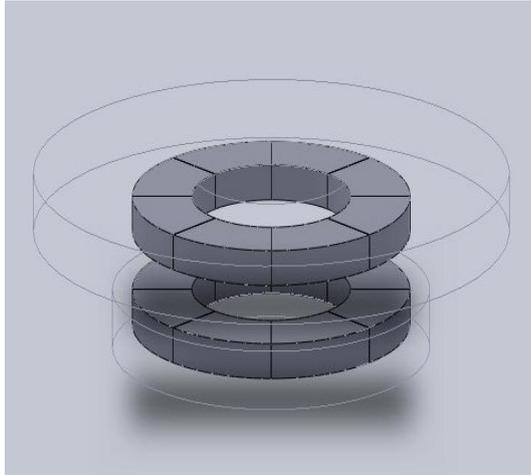


圖 2.4: 磁塊無轉位角

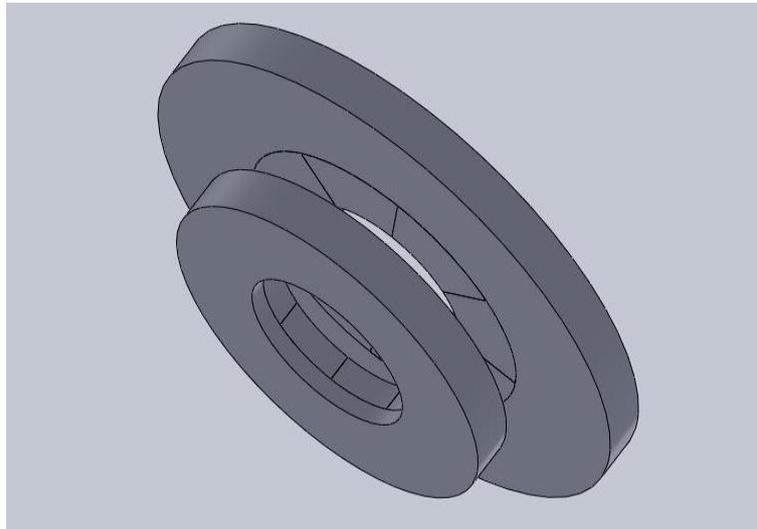


圖 2.5: 環狀八塊磁盤抗重組

## 2. 磁浮抗重盤匯入模擬軟體

### (1) 開啟 Maxwell 軟體

開始=>所有程式=>Maxwell

### (2) 匯入圖檔

3D Model=>Import => 檔名 =5cm; 檔案類型 =STEP

File(\*.step,\*.stp)

### 3. 求解種類設定

由軟體所提供不同的分析中選取適當的求解種類。

Maxwell=>Solution Type 求解種類 (solution type)

(1) Magnetostatic (靜磁場分析)。

(2) Eddy Current (渦流場分析)。

(3) Transient (動態場分析)。

(4) Electric (電場分析)，分為直流與交流。

本研究主要求解目的在靜磁模擬，故選擇 Magnetostatic (靜磁場分析)進行模擬。

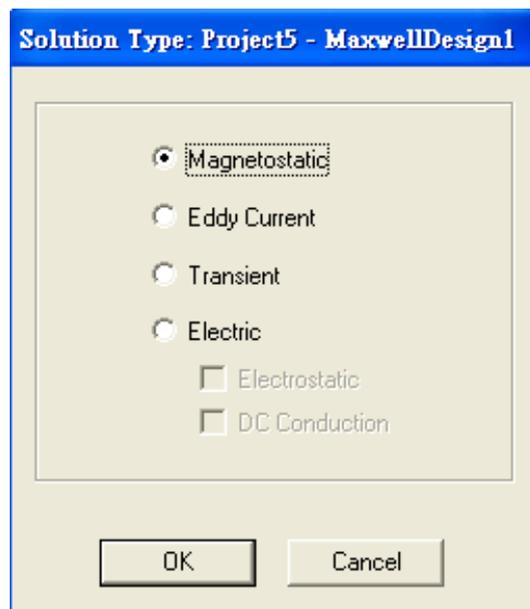


圖 2.6: 求解器種類

### 4. 設定材料

將匯入的模型依序輸入材料資訊，但本研究所需的材料軟體內定並沒有，故需要在軟體新增材料，如圖 2.7 所示：

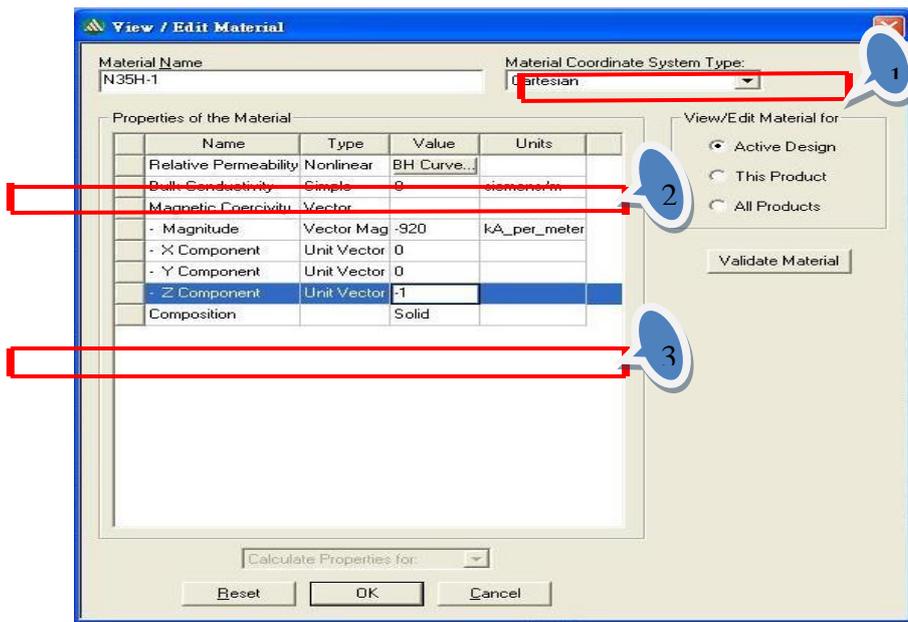


圖 2.7: 材料設定步驟

如上圖所示，將設定步驟分為三項且依序說明，其設定步驟如下：

(1) 編輯座標系統

軟體中備有三種座標系以供使用：

- a. Cartesian 笛卡兒座標
- b. Cylindrical 圓柱座標
- c. Spherical 球狀座標

由於本研究所使用之磁性材料特性曲線屬平面座標，故選取笛卡

兒座標。

(2) 設定材料特性

A. 設定相對導磁率

在設定材料特性時，首先必須先設定相對導磁率，而相對導磁率有以下的選項：

- a. Simple：結構單一，不可分割
- b. Anisotropic：非等方向性
- c. Nonlinear：非線性

由於本研究之磁體材料特性曲線為非線性，故選擇 Nonlinear：非線性，而圖中顯示為一直線是因為在 kA\_per\_meter 與 Tesla 單位的 H 與 B 為一線性。

B. 設定相對導磁率後，將附件一的永磁體材料資訊(B-H 值) 設定至 B-H Curve，如圖 2.8 所示：

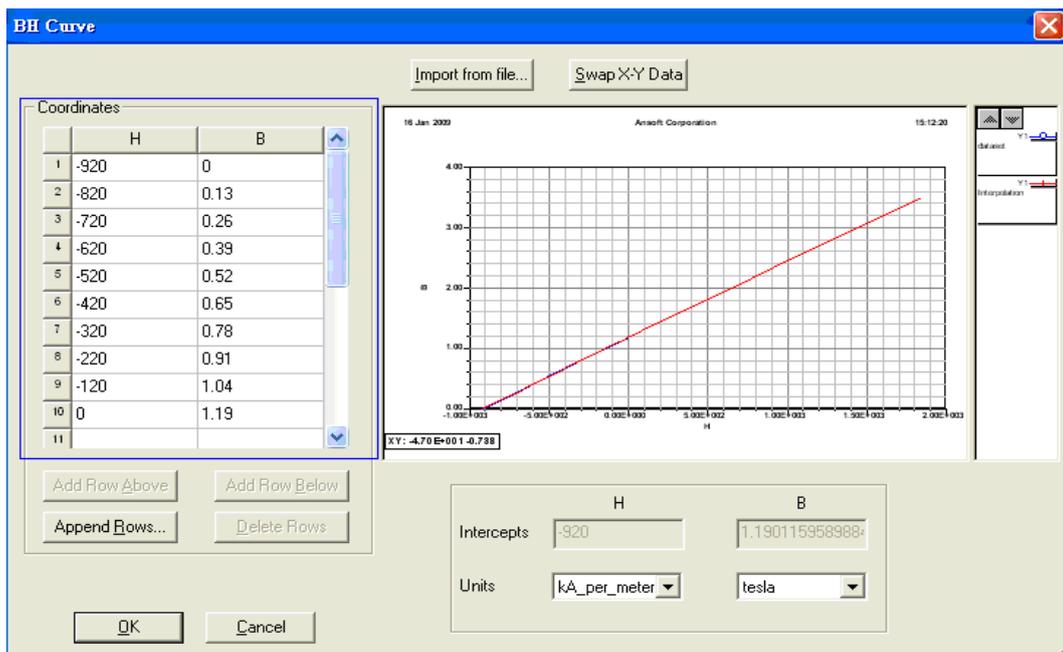


圖 2.8: 設定材料 B-H 特性曲線

由於本研究之磁體材料特性曲線為非線性，故選擇 Nonlinear：非線性，將附件一所得到的材料訊息 B-H Curve 輸入至 H 與 B 欄內即可將展現出該材料之特性曲線。而圖中顯示

為一直線是因為在  $kA\_per\_meter$  與 Tesla 單位的  $H$  與  $B$  為一線性。

### (3) 設定材料方向

本研究乃是利用永磁體相斥特性進行實驗，且在  $Z$  軸做相斥實驗，故在軟體的設定上就必須在  $Z$  軸分量做改變，如圖 2.7 所示， $Z$  軸分量設定 1 與 -1 的差別在於  $Z$  軸分量 1 乃與軟體座標軸同向向上為正值，同理  $Z$  軸分量 -1 其與軟體座標軸反向為負值。由於本研究最終解乃是  $Z$  軸之相斥力量，故只在  $Z$  軸分量作設定。

### 5. 設定求解區域

本研究設定求解區的目的是，只計算分析求解區範圍內磁力分析，在求解區外的影響參數均為零，如圖 2.9 所示，而求解區的設定大小將影響程式計算的範圍，定義範圍應適度，過大將浪費運算資源。

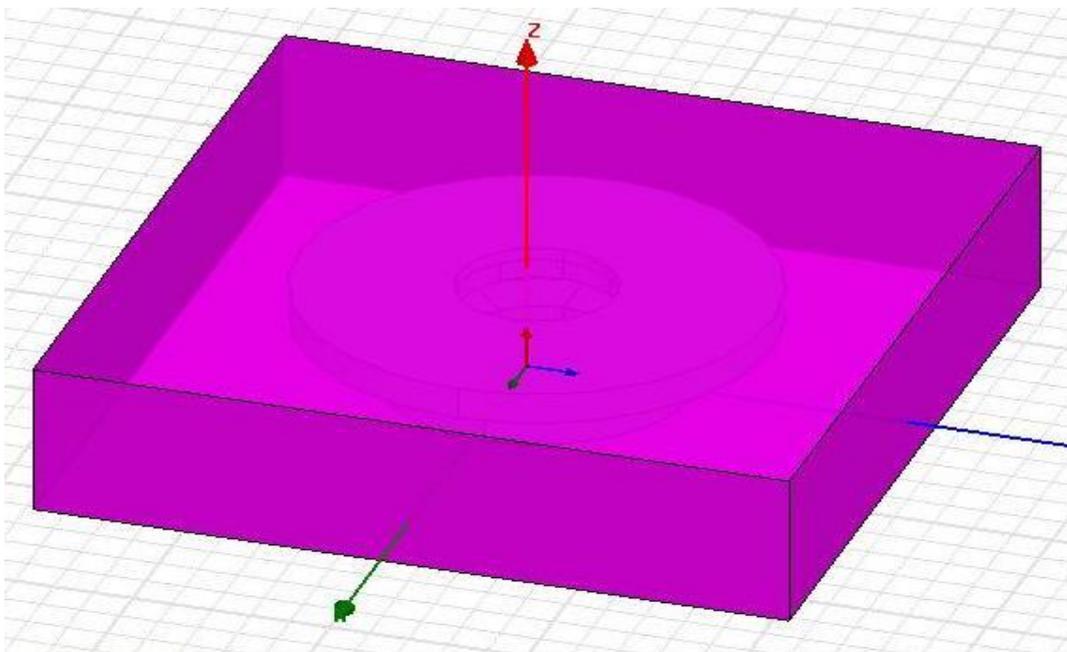


圖 2.9: 求解區

依模型本體最外圍之長、寬、高來定義求解區的大小。

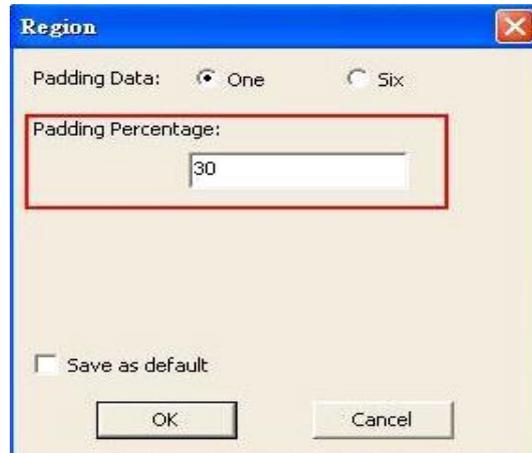


圖 2.10: 設定求解區範圍

圖 2.10 中的填充百分比表示由模型本體分別向 x、y、z 軸的正負方向分別向外延伸，其在該維度大小之百分比作為求解區。本研究設為 30%，表示模型本體向 x、y、z 軸的正向、負向分別延伸模型本體在該維度大小的 30% 作為求解區的相關維度大小。求解區各維度之大小計算如下：

$$x : 600 + 2 \times (600 \times 0.3) = 960 \text{mm}$$

$$y : 600 + 2 \times (600 \times 0.3) = 960 \text{mm}$$

$$z : 150 + 2 \times (150 \times 0.3) = 240 \text{mm}$$

求解區範圍設定好之後就必須設定求解區內的材料物質，由於本研究在實驗乃以在一般空氣中，故在軟體模擬時就必須將求解區的材料物質設定為空氣，圖 2.11 中紫色範圍就是求解區，而求解區範圍內充滿空氣。

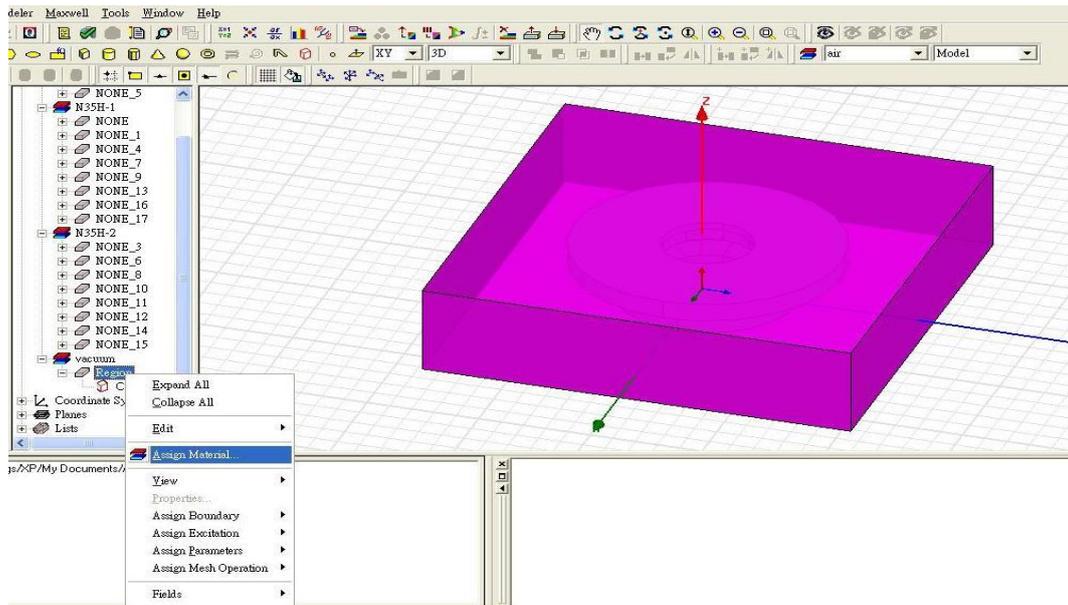


圖 2.11: 求解區域設定

## 6. 設定求解力

設定此項目為了可以得知本研究中上下兩磁浮抗重盤所能承受之力量大小，在此可以理解兩磁浮抗重盤之相斥力量，而在此套軟體中乃是利用兩物體之間的磁相距而求出力量大小，其設定如下圖(圖 2.12、圖 2.13)所示：

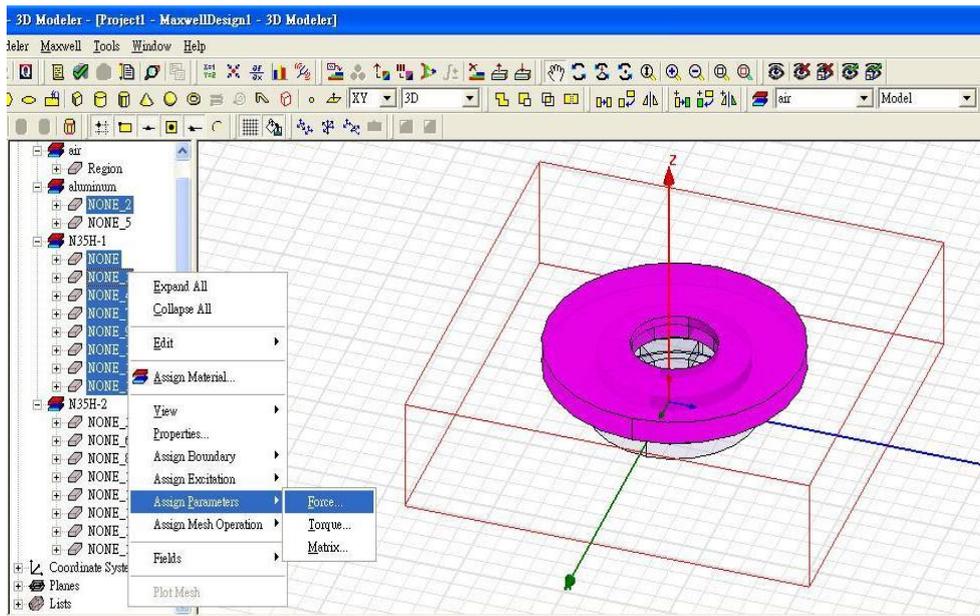


圖 2.12: 上載盤求解力設定



圖 2.13: 設定力量解

- a. Name=Force1
- b. Type=Virtual (模擬磁力大小)
- c. Reference=Global

## 7. 設定求解項目

### A. 求解設定

Maxwell=>Analysis Setup=>Add Solution Setup

### B. 設定求解參數

設定本求解之名稱及其控制參數。

a. Name=Setup1

b. Maximum Number of Passes=10

c. Percent Error=1

Maximum Number of Passes 數值越大，而 Percent Error 值越小，模擬物件所計算值也變的更精準，10 與 1 都為預設值。進行精密計算分析時，可考慮將此兩項參數提高與縮小，以減小誤差。

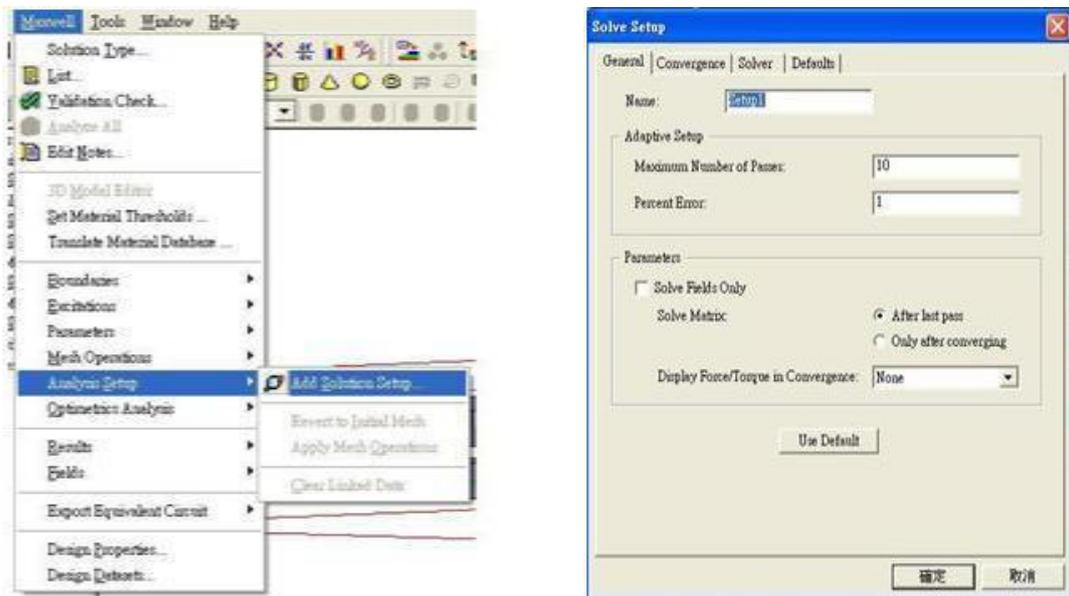


圖 2.14: 設定求解參數

## 8. 設定求解 B(磁通密度)-H(磁場強度)

設定此選項乃是為了瞭解本研究兩磁浮抗重盤內的 B-H 分佈情形與不同材料磁力的影響，其設定如圖 2.14，求解區域=>[右鍵]=>Fields=>H=>H\_Vector。

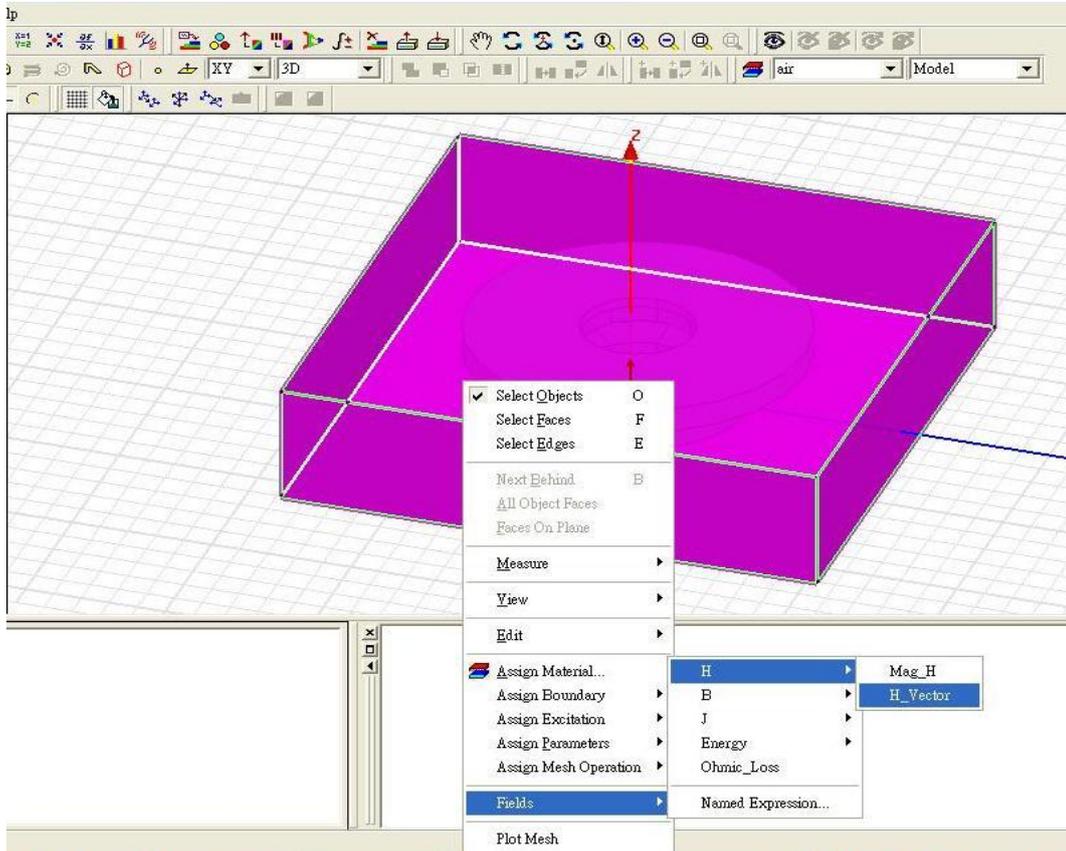


圖 2.15: 設定 B-H 解

在圖 2.15 內，H(磁場強度)選項中分別出現 Mag\_H 與 H\_Vector

兩選項，其分別在於最後顯示磁力分佈圖的不同。

a. Mag\_H=以點表示磁場強度

b. H\_Vector=以向量表示磁場強度

## (二)、動態模擬執行操作

由於需要了解磁浮抗重盤之穩定性，故需做動態模擬分析，而動態模擬乃是模擬磁浮抗重盤在運動狀況下各磁浮抗重盤磁能的變化，其操作步驟如下：

### 1. 繪製模擬設計圖

與靜模擬相同，利用 Solid Works 繪製磁浮抗重盤圖到軟體內進行模擬分析。而其後續的操作步驟(操作步驟 2~操作步驟 6)與靜態模擬相同，其不同處的操作步驟如從第 2 項開始探討。

### 2. 繪製運動區域

由於動態模擬必須設定運動件運動區域，故需要在匯入的磁浮抗重盤圖中的運動件外圍繪製運動區域，其繪製旋轉區其操作如下：

繪製運動區域設定

Draw=>Regular Polyhedron

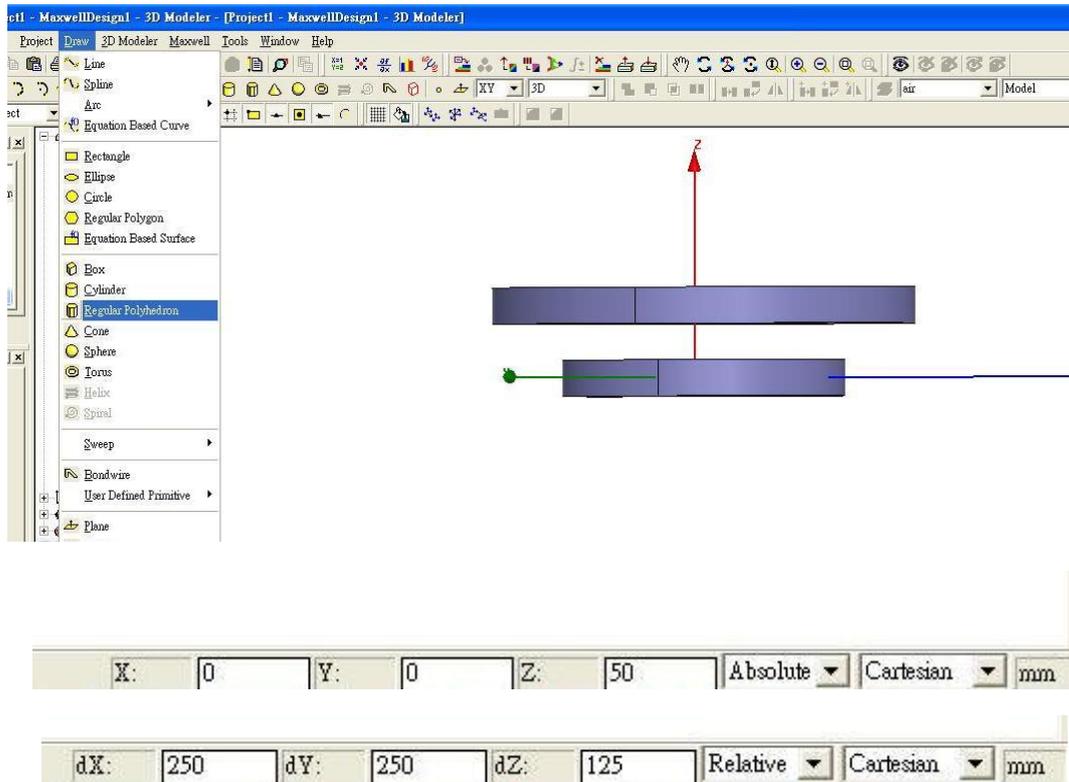


圖 2.16: 起始及終點繪圖位置

在X,Y,Z,內輸入運動區域的初始位置，如圖2.16，而後在dx, dy, dz,輸入運動區的終點位置，即可繪出旋轉區，如圖2.17。

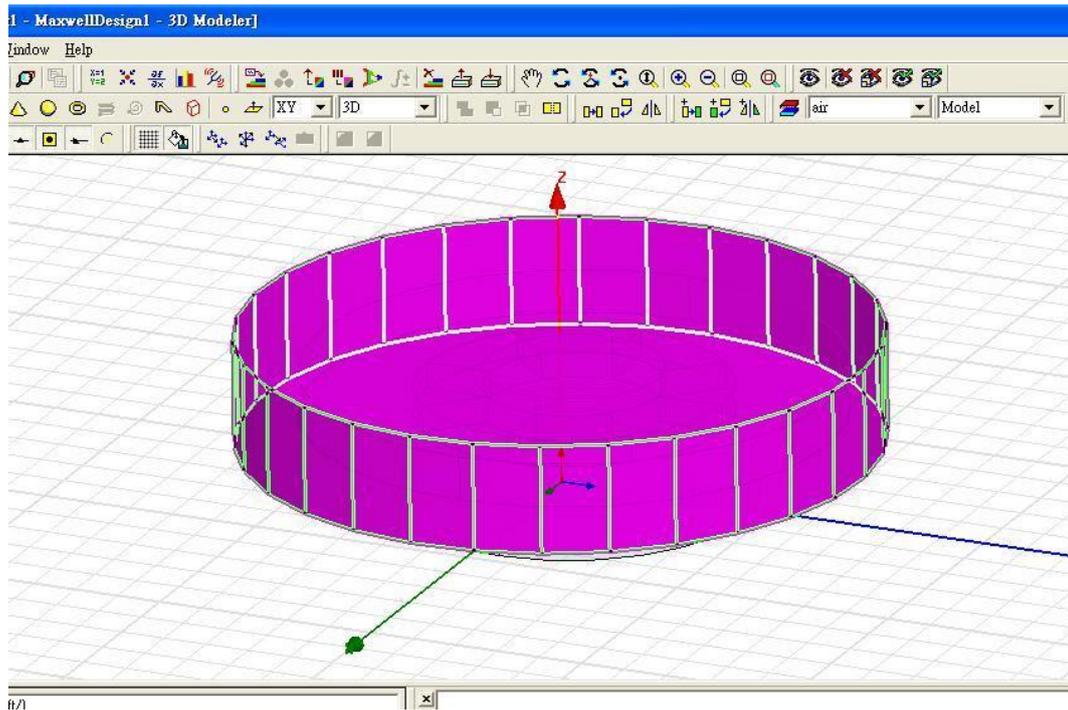


圖 2.17: 旋轉區域繪製完成圖

### 3. 設定 Band

如圖 2.18 所示，在繪好的運動區按滑鼠右鍵=>Assign Band  
即會跳出下列選項

#### (1) Type 設定選項

- a. Transient =瞬變模擬
- b. Rotate =旋轉模擬
- c. Moving Vector =>Global : Z (對 Z 軸運動)
- d. Positive= 正轉
- e. Negative= 反轉

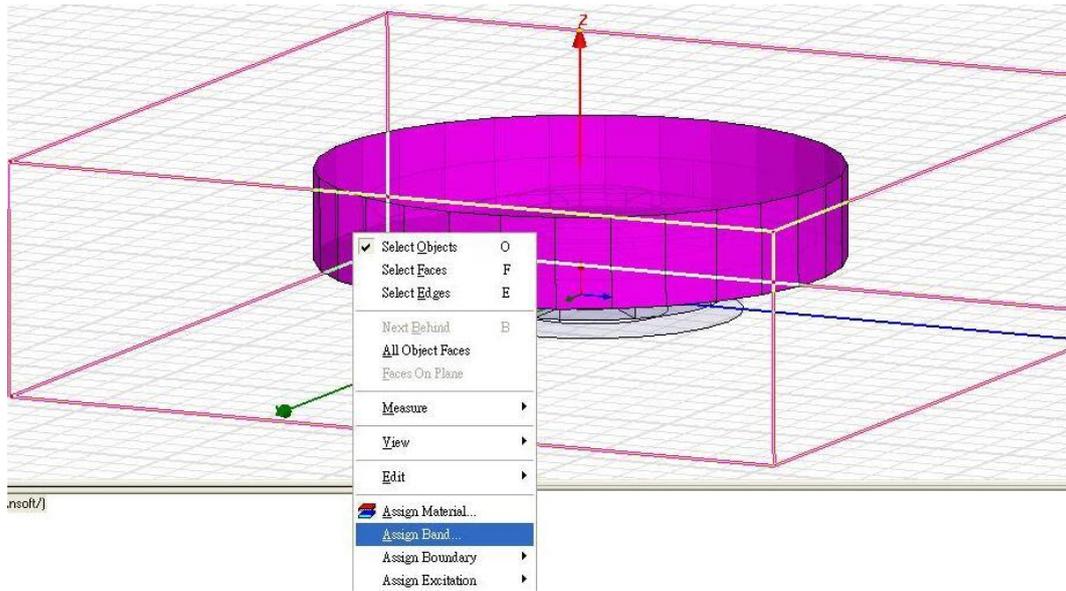


圖 2.18: 設定 Band

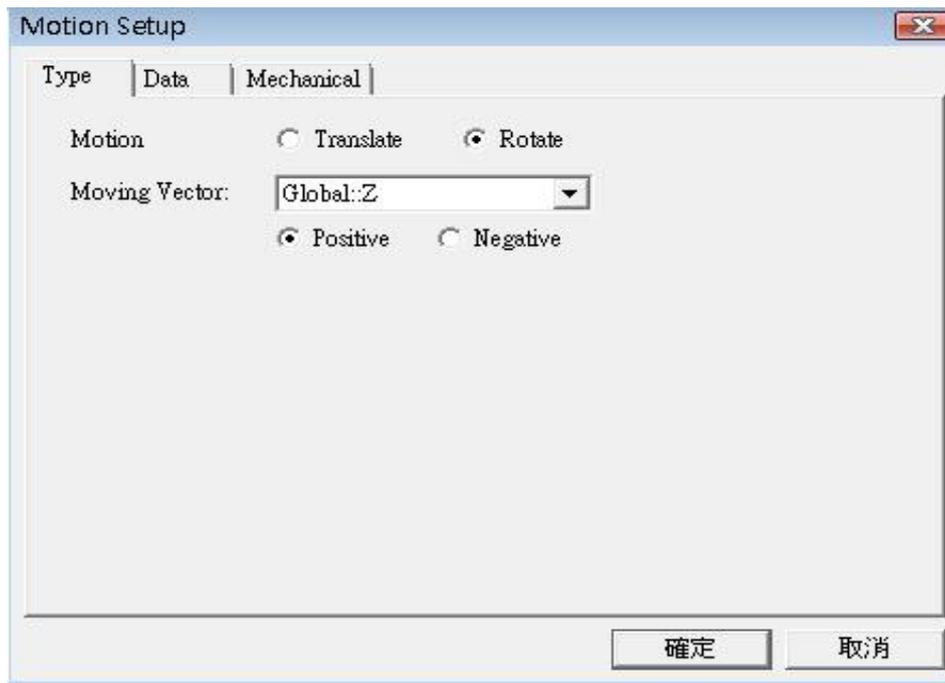


圖 2.19: Type 設定選項

(2) Data 設定選項

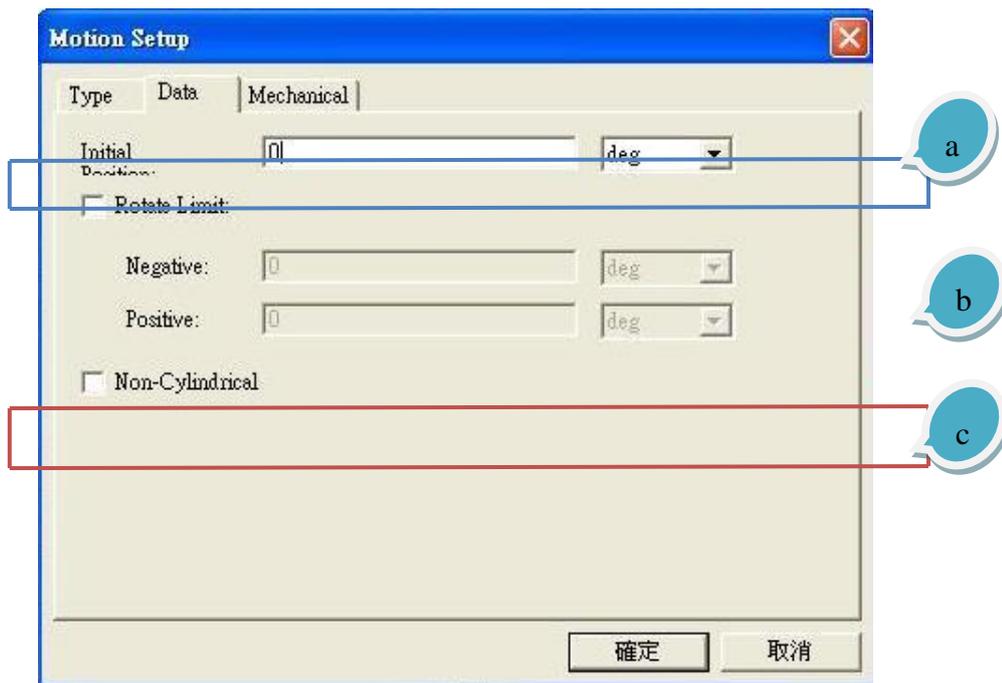


圖 2.20: Data 設定選項

a. 設定初始位置

此項乃設定轉動物件起始轉動位置，本研究將此項設定為  $0^\circ$  當初始位置。

b. 限定轉動方位

c. 設定非圓柱體轉動

(3) Mechanical 設定選項

本研究將 Angular Velocity 設定為 rpm 轉速

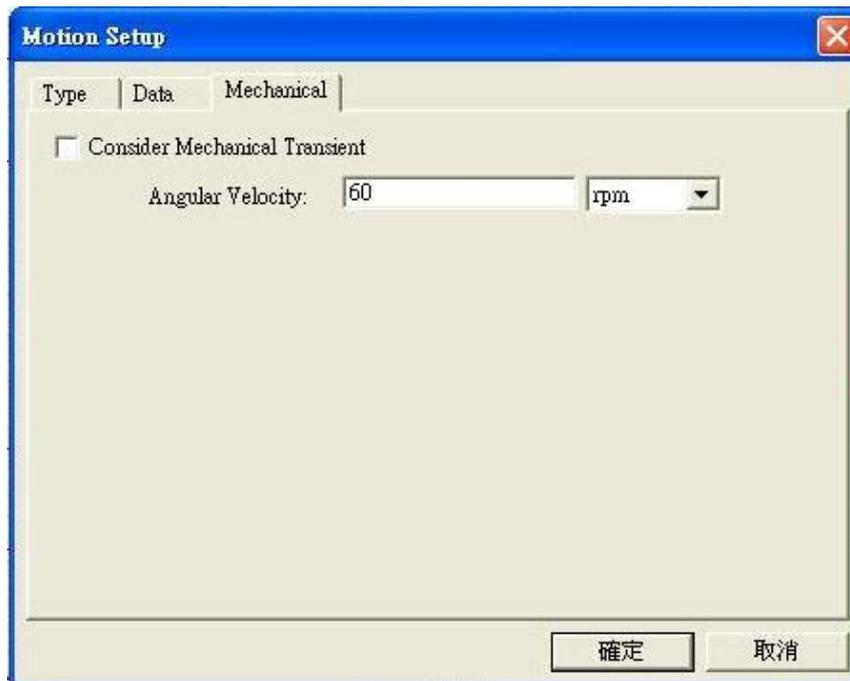


圖 2.21: Mechanical 設定選項

#### 4. 設定求解項目

##### (1) 求解設定

Maxwell=>Analysis Setup=>Add Solution Setup

##### (2) 設定求解參數

設定本求解之名稱及其控制參數。

a. Stop time=360

b. Time step=1

將 Stop time 設定越大其可看出轉動時的週期，而將 Time step

設定越小其轉動計算會分的越密集。

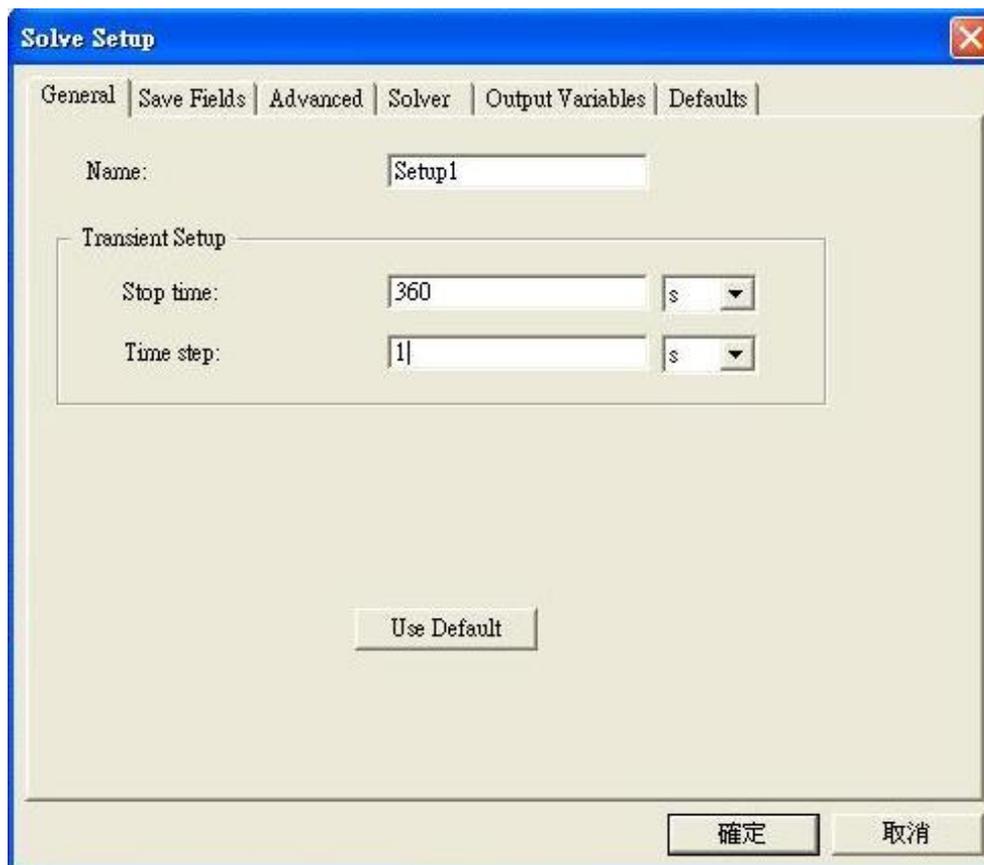


圖 2.22: General 設定選項

### 5. 參數修正

按照上面 1~4 項動態設定逐一進行時，假設最後檢查發現如圖 2.23。

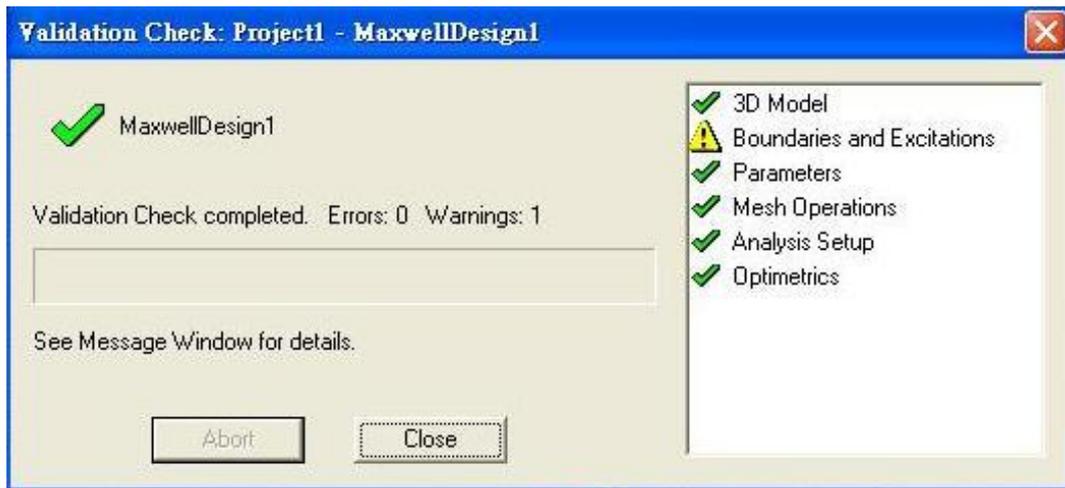


圖 2.23: 參數查核錯誤訊息

修正方法：

Maxwell=>Excitations=>Set Eddy Effects ，如圖 2.24。出現錯誤訊息主要是上、下載盤不具磁力特性，在進行軟體磁力模擬時，必須特別強調上、下載盤不具渦流效應（Eddy Effects）再經檢查無誤後，得以進行分析。

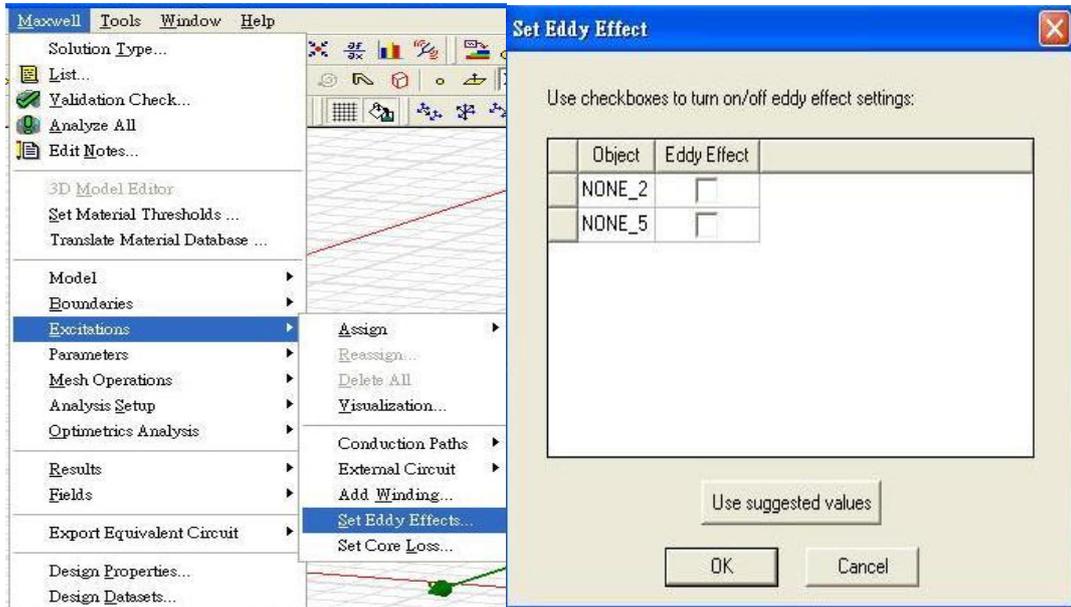


圖 2.24: 關閉渦流效應之修正

#### 四、實驗步驟與項次

執行項目：環狀八磁塊磁浮抗重盤

##### (一)、磁浮抗重盤規格

本研究之磁浮抗重機構由四個零件所組成分別有：上承載盤、下承載盤和兩組 N35H 八塊環形磁鐵，如圖 2.25、圖 2.26 所示，

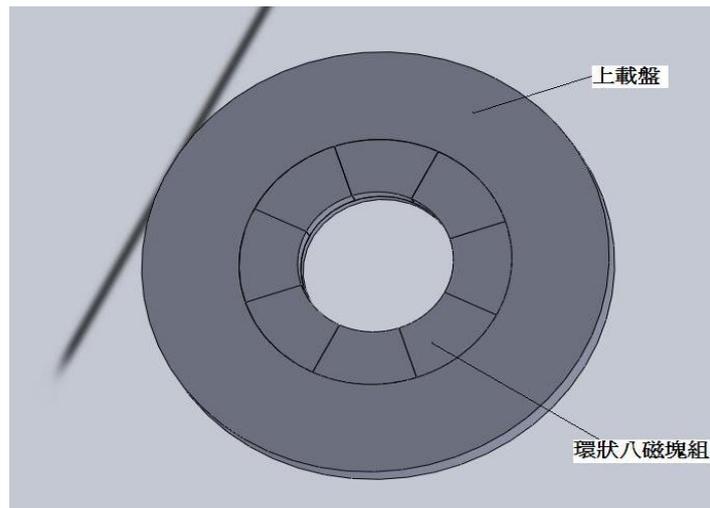


圖 2.25: 上環狀八磁塊磁浮盤抗重盤

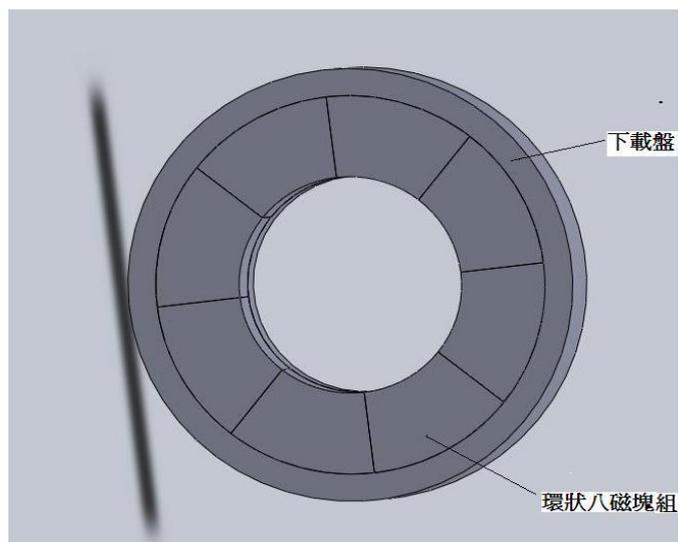


圖 2.26: 下環狀八磁塊磁浮盤抗重盤

a. 上載盤

鋁質，其功能為固定上環狀磁塊、阻隔向上方磁性，保護上環狀磁塊，並承載重量。

直徑：600mm

厚度：50mm

重量：42kg

b. 下載盤

鋁質，其功能為固定下環狀磁塊、阻隔向下方磁性，保護下環磁塊，並支撐整個結構。

直徑：400mm

厚度：50mm

重量：22kg

c. 上環狀磁塊

N35H 釹鐵硼 (NdFeB) 磁鐵，嵌入上載盤中。

外環直徑：350mm

內環直徑：200mm

厚度：30mm

重量：14.1kg

d. 下環狀磁塊

其大小、重量及材質同上環狀磁塊，嵌入下載盤中。

e. 上、下磁浮盤抗重盤

環狀磁塊嵌入載盤後合稱為磁盤，其重量為二者加總後之結果，上磁浮盤抗重盤重 56.1kg (圖 2.25)，下磁浮盤抗重盤重 36.1kg (圖 2.26)。

## (二)、實驗步驟

使用軟體模擬實際磁浮抗重盤的模型，依照相同的尺寸進行軟體模擬，且求出磁浮抗重盤的磁抗力再與實驗的磁浮抗重盤的

磁抗力，比較查看誤差百分比，且找出誤差的原因。在軟體模擬方面主要分為兩種模擬；a.靜態模擬，b.動態模擬。

#### a.靜態模擬

在此項模擬主要是利用 N35H 磁體所組成的磁浮抗重盤在各間距下的磁抗力，依無轉位角、有轉位角，進而比較其差異。

#### b.動態模擬

動態模擬主要分為：i. N35H 磁體磁抗盤在 5、10、20、30 mm 有轉位角之動態，ii. N35H 磁體磁抗盤在 5、10、20、30 mm 無轉位角之動態兩種項目進行模擬。利用上列兩項動態模擬可以得知磁浮抗重盤在 5、10、20、30 mm 的磁抗力是否穩定。

利用附件一所得之 N35H 磁體的磁特性曲線輸入到新增材料內，分別在 5、10、20、30 mm 的間距下以 60rpm 的速度運動，其以得知在 5、10、20、30 mm 間距下磁浮抗重盤之磁抗力跳動情況，在依其比較有、無轉位角之差異。



圖 2.27: 磁塊實體圖

### 參、主要發現與結論

根據以上的實驗步驟，這裡將探討無轉位角及有轉位角磁塊排列所能產生的最佳效能，再前面章節介紹到此種不同的磁鐵形狀排列與配合 N35H 特性磁鐵將其排列整理，可得下列各項數據並將下列各項數據，各別比較以找出最佳磁效能，如果實測數據與模擬數據發生嚴重的差異時，必須詳加研究，並找出問題或影響因素，以確保本研究磁盤模擬之可靠性。

## 一、模擬軟體所得數據

利用軟體靜態模擬塊狀磁浮抗重盤在各間距下所能產生之磁力，再利用動態模擬查看塊狀磁浮抗重盤在各間距下產生的磁抗力是否穩定。

### (一) 靜態模擬所得之間距與重量關係值

為了瞭解塊狀磁鐵之磁浮抗重盤是否會因為轉位角之關係而影響磁抗力，故利用軟體模擬塊狀磁浮抗重盤在無轉位角與有轉位角之間距與重量關係值以 5 mm、10 mm、20 mm、30 mm 間距進行靜態模擬抗重，而磁鐵的型號都以 N35H 為主，往後再與實驗量測所得之間距與重量關係值比較誤差。

使用 N35H 磁鐵所組成的塊狀磁浮抗重盤在無轉位角與有轉位角狀態下進行塊狀磁浮抗重盤在各間距下之磁抗力模擬，其模擬值如下圖表所示。

a. 使用軟體模擬 N35H 磁鐵所組成的塊狀磁浮抗重盤在無轉位角所得之間距與磁抗力關係值，其模擬值如表 3.1 所示：

表 3.1: N35H 塊狀磁抗盤軟體模擬磁抗力與間距關係值(無轉位角)

靜態無轉位角		
項次	間距 單位 : mm	上載盤力 單位 : kg
1	5	730.805
2	10	569.755
3	20	404.602
4	30	261.226

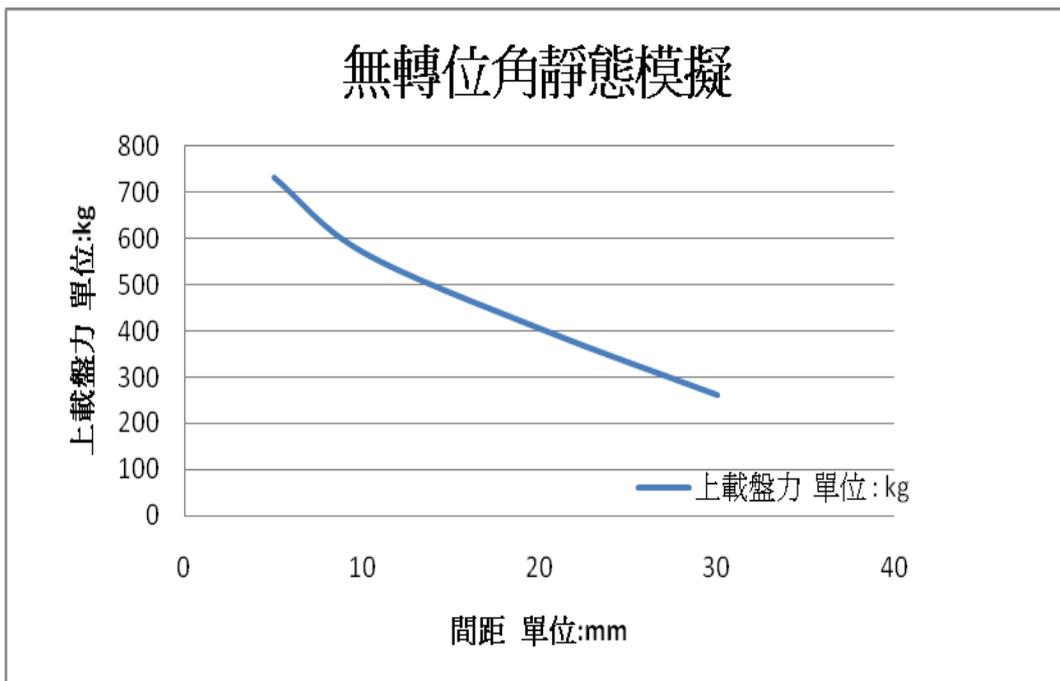


圖 3.1: N35H 塊狀磁浮抗重盤軟體模擬磁抗力與間距(無轉位角)

b. 使用軟體模擬 N35H 磁鐵所組成的塊狀磁浮抗重盤在有轉位角所得之間距與磁抗力關係值，其模擬值如表 3.2 所示：

表 3.2: N35H 塊狀磁抗盤軟體模擬磁抗力與間距關係值(有轉位角)

靜態有轉位角		
項次	間距 單位 : mm	上載盤力 單位 : kg
1	5	731.193
2	10	569.511
3	20	372.269
4	30	262.049

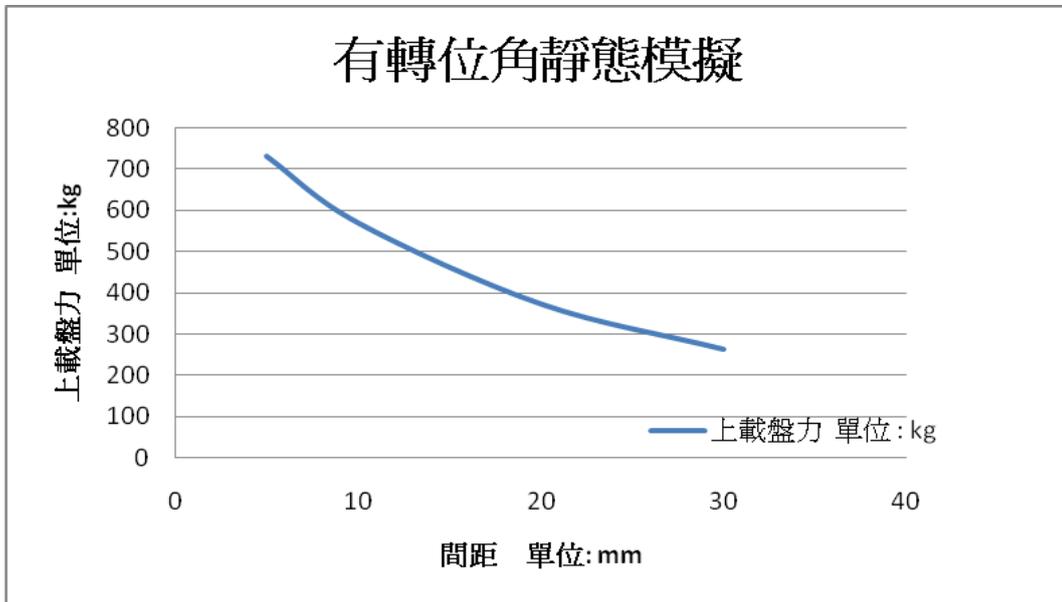


圖 3.2: N35H 塊狀磁浮抗重盤軟體模擬磁抗力與間距(有轉位角)

## 二、動態模擬所得之間距與重量關係值

在此項模擬中利用 N35H 磁鐵型號所組成的塊狀磁浮抗重盤在 5 mm、10 mm、20 mm 與 30 mm 間距進行動態模擬，以尋求在各間距下的塊狀磁浮抗重盤之磁抗力是否穩定，其模擬數值如下圖表所示：

a. N35H 磁體轉動角為無轉位角的情況。利用間距 5 mm、10 mm、20mm 與 30 mm 查看 N35H 磁鐵的塊狀磁浮抗重盤從  $0^{\circ}$ ~ $360^{\circ}$  其轉動 360 秒是否有磁抗力損失的發生，其模擬值如圖 3.3~圖 3.6 所示：

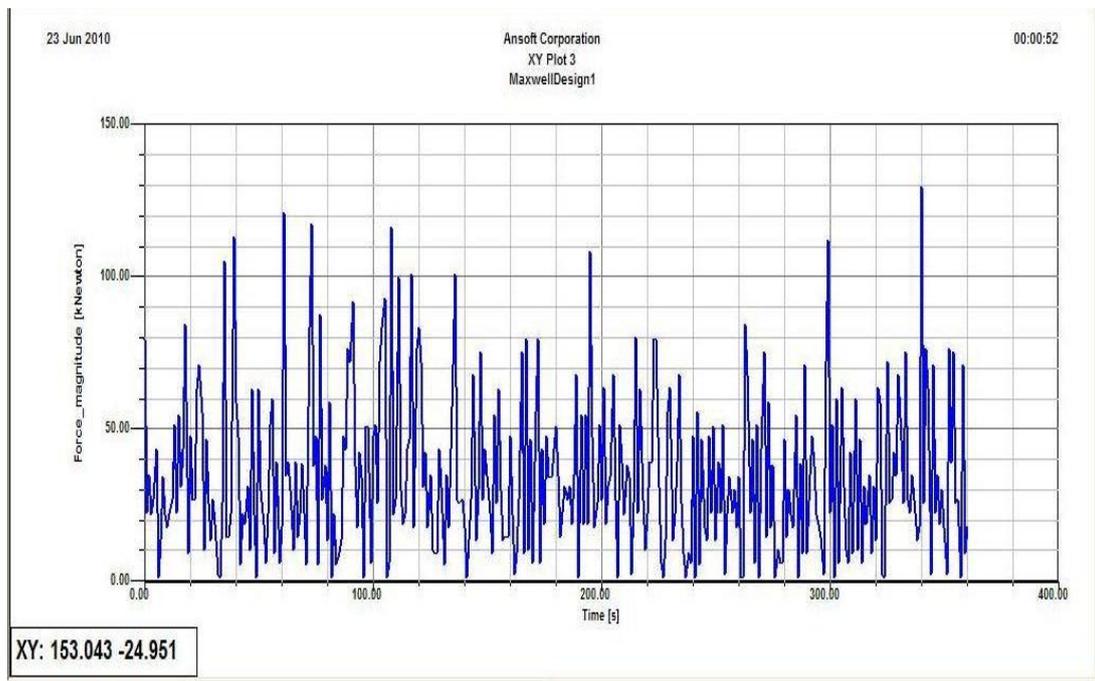


圖 3.3: N35H 塊狀磁浮抗重盤間距 5 mm 磁抗力(動態無轉位角轉動)

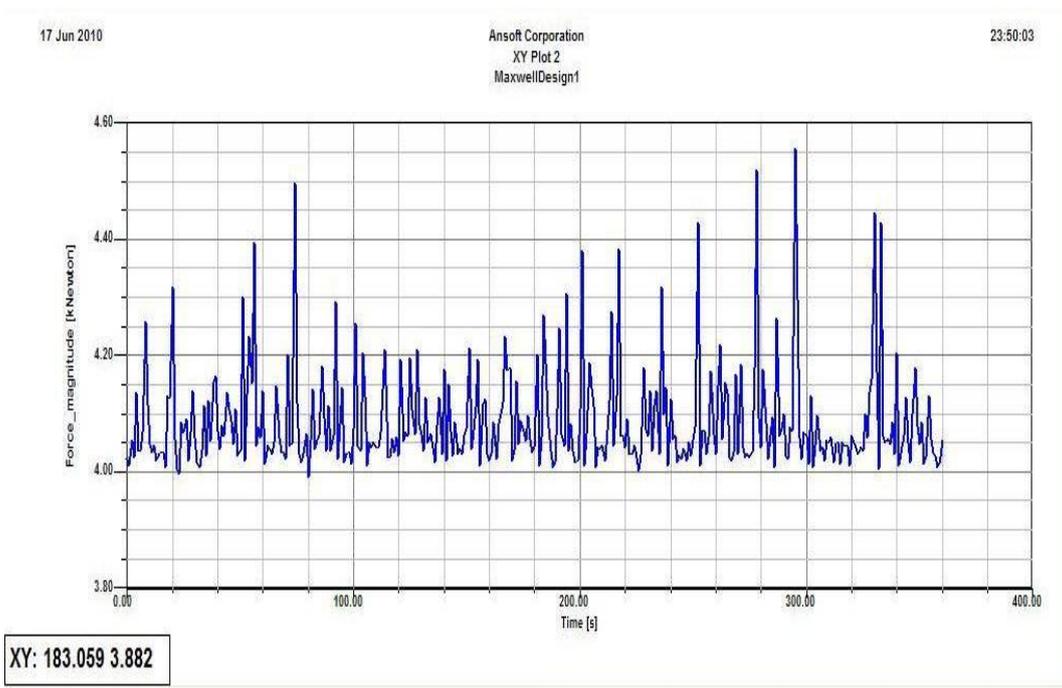


圖 3.4: N35H 塊狀磁浮抗重盤間距 10 mm 磁抗力(動態無轉位角)

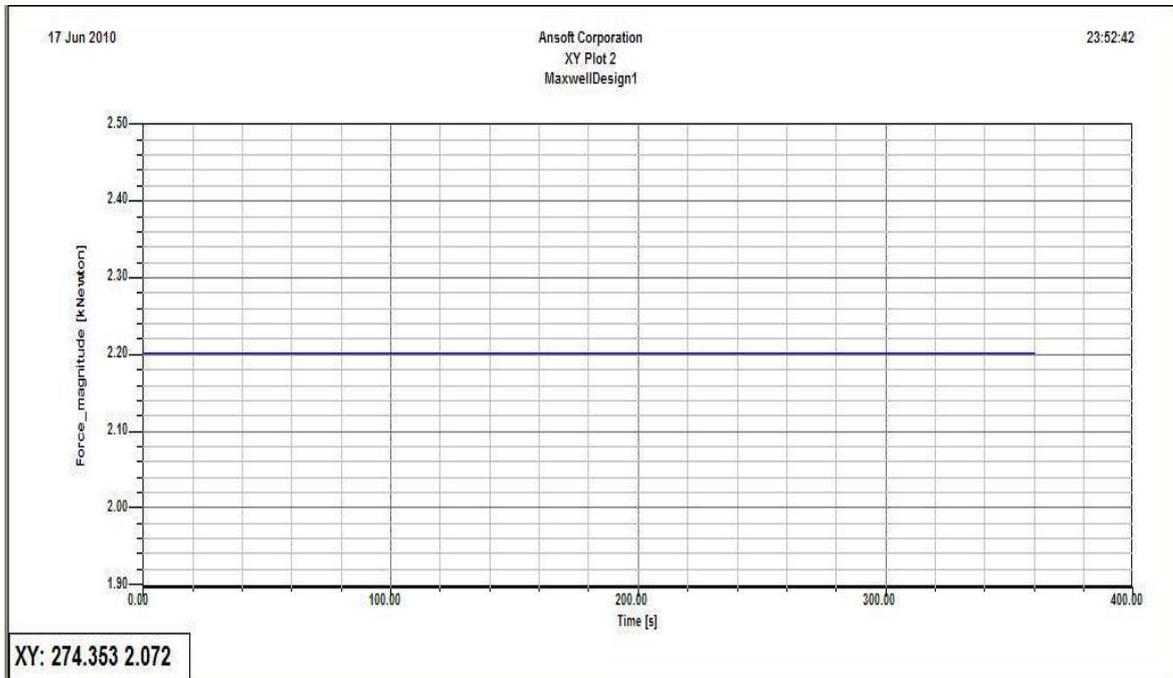


圖 3.5: N35H 塊狀磁浮抗重盤間距 20 mm 磁抗力(動態無轉位角)

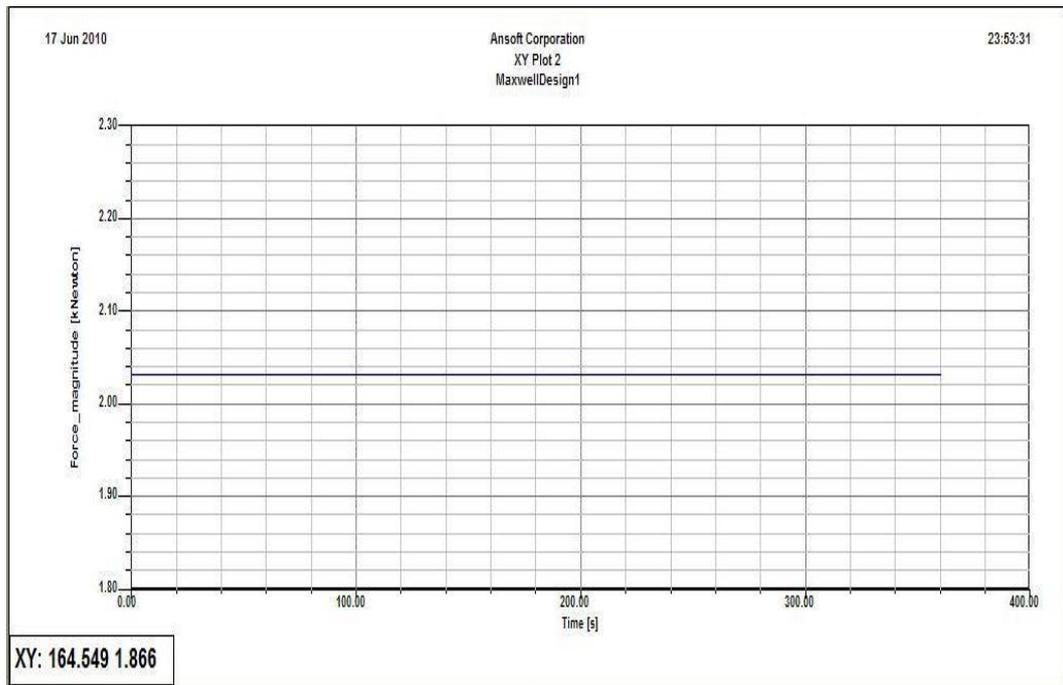


圖 3.6: N35H 塊狀磁浮抗重盤間距 30 mm 磁抗力(動態無轉位角)

b. N35H 磁體轉動角為有轉位角的情況。利用間距 5 mm、10 mm、20 mm 與 30 mm 查看 N35H 磁鐵的塊狀磁浮抗重盤從  $0^{\circ}$ ~ $360^{\circ}$  其轉動 360 秒是否有磁抗力損失的發生，其模擬值如下列圖 3.7~圖 3.10 所示：

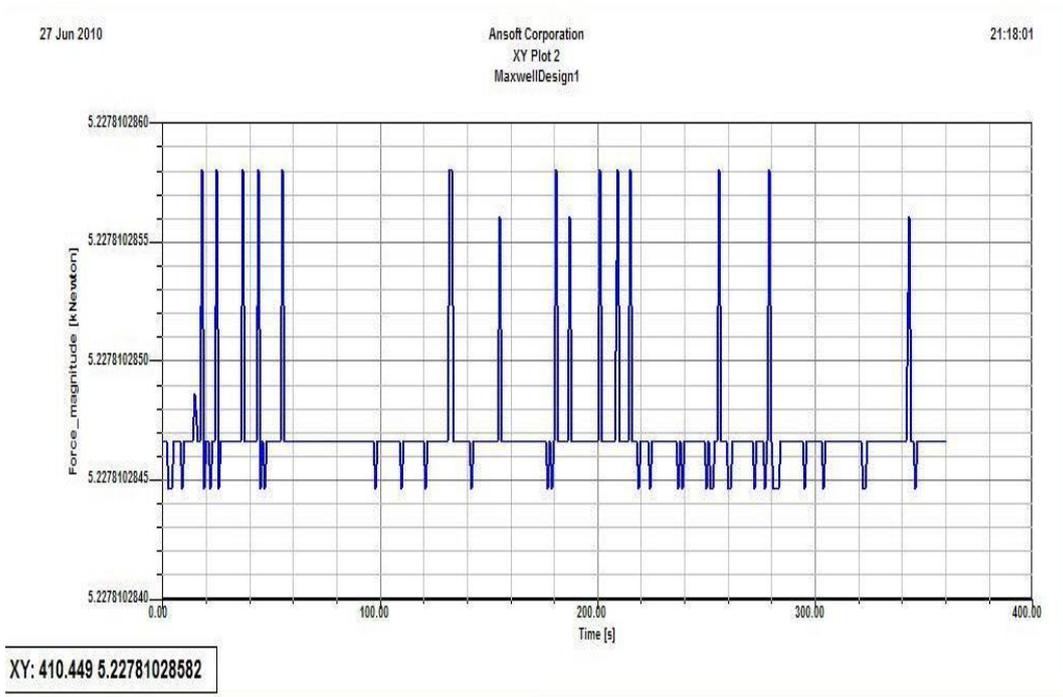


圖 3.7: N35H 塊狀磁浮抗重盤間距 5 mm 磁抗力(動態有轉位角轉動)

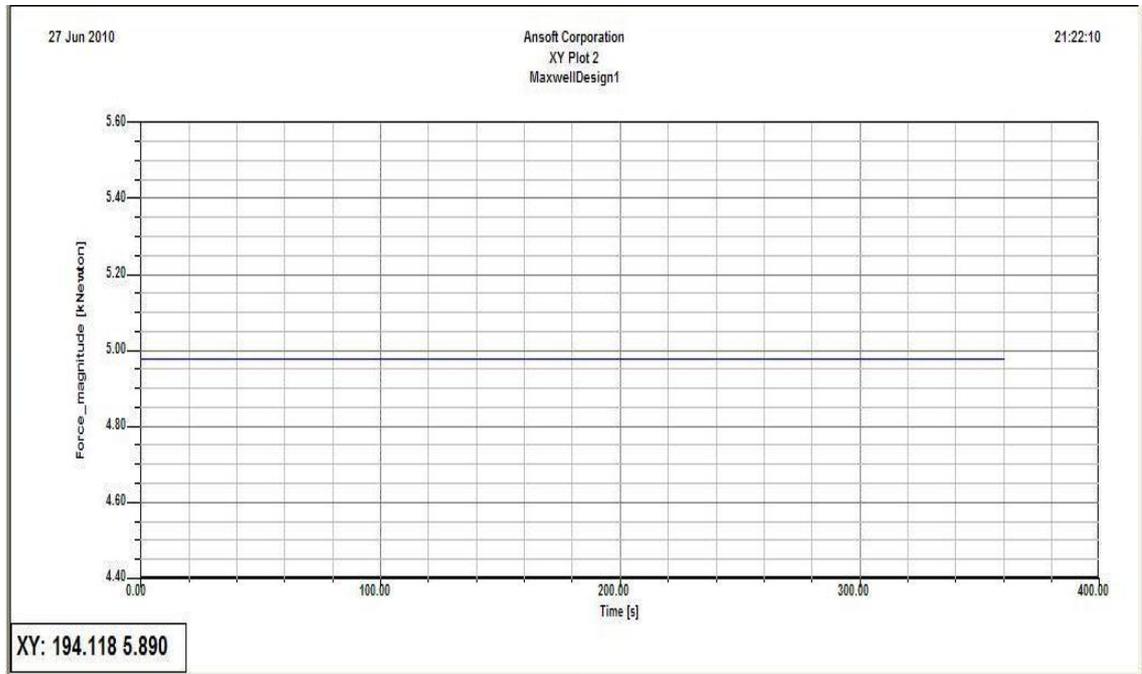


圖 3.8: N35H 塊狀磁浮抗重盤間距 10 mm 磁抗力(動態有轉位角轉動)

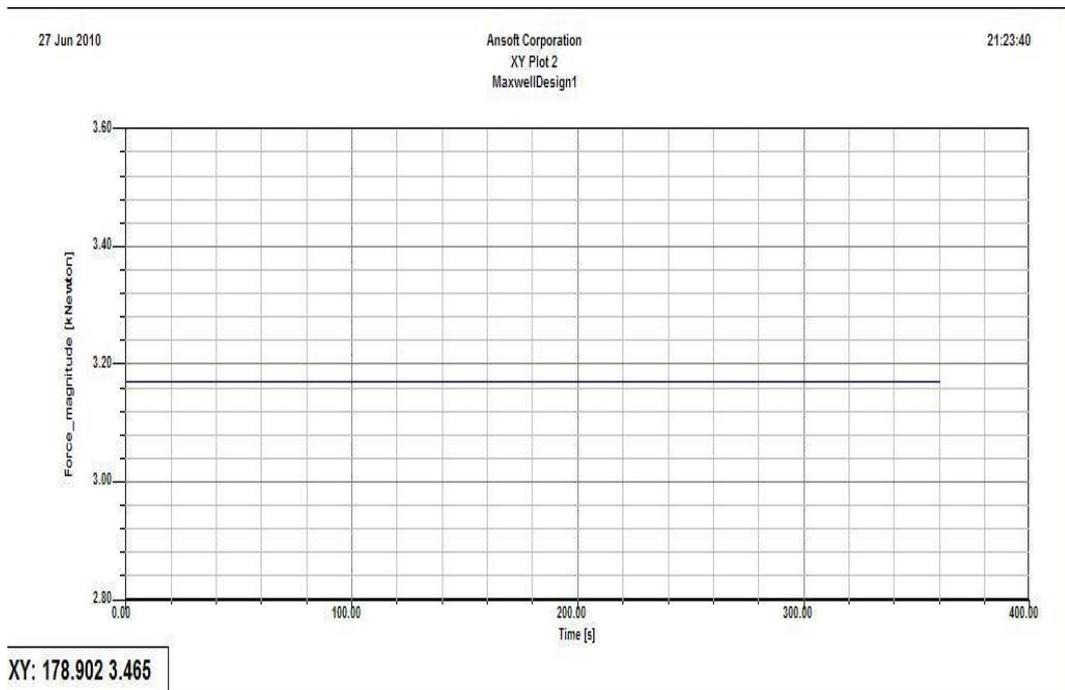


圖 3.9: N35H 塊狀磁浮抗重盤間距 20 mm 磁抗力(動態有轉位角)

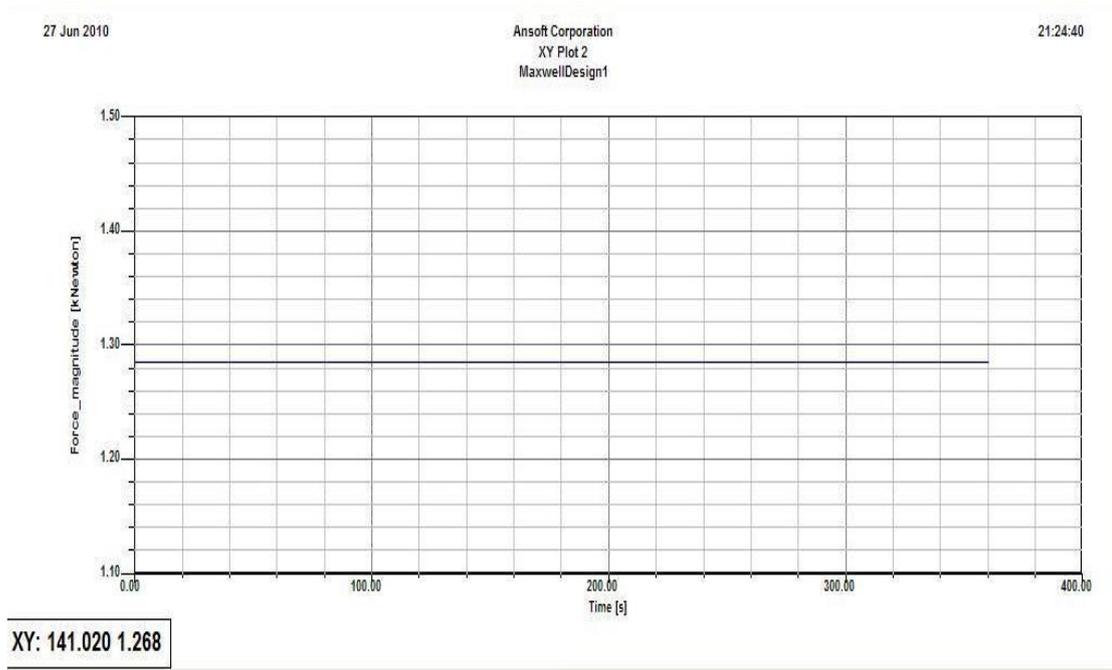


圖 3.10: N35H 塊狀磁浮抗重盤間距 30 mm 磁抗力(動態有轉位角)

### 三、各類數據比較

#### a. 靜態模擬數據比較

表 3.3: N35H 塊狀磁浮盤靜態有無轉位角間距及抗力之比較

N35H塊狀磁浮盤靜態有無轉位角間距及抗力之比較				
項次	間距 單位:mm	無轉位角上載盤力 單位:kg	有轉位角上載盤力 單位:kg	誤差 單位:百分比
1	5	730.805	731.193	0.05%
2	10	569.755	569.511	0.00%
3	20	404.602	372.269	7.99%
4	30	261.226	262.049	0.32%

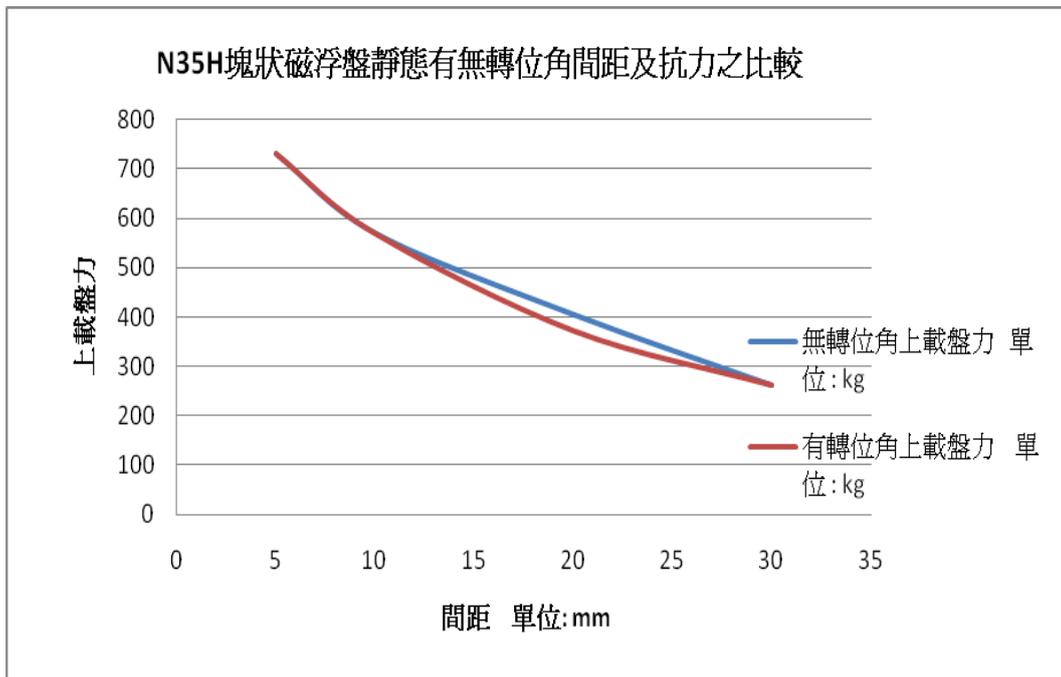


圖 3.11: N35H 塊狀磁浮盤靜態有無轉位角間距及抗力之比較關係圖

由表 3.3 顯示，磁浮盤靜止時內部所屬的磁塊，無論有、無轉位角，其所顯示出的抗力大乎雷同，除了在間距 20 mm 時所顯示出的抗力稍微有差距外，這可能是在間距 20 mm 時，恰好是有轉位角磁力線最稀疏的地方，故抗力比無轉位角來的不穩。

b. 動態模擬數據比較

(a) 最大抗力比較

表 3.4: N35H 塊狀磁浮盤動態有無轉位角間距及抗力之比較

動態有無轉位角最大抗力與間距關係圖					
項次	間距 mm	有轉位角(maxinum) kg	是否收斂	無轉位角(maxinum) kg	是否收斂
1	5	532.906	幾近收斂	576.55	否
2	10	507.273	是	464.46	否
3	20	323.22	是	224.683	是
4	30	130.99	是	207.186	是

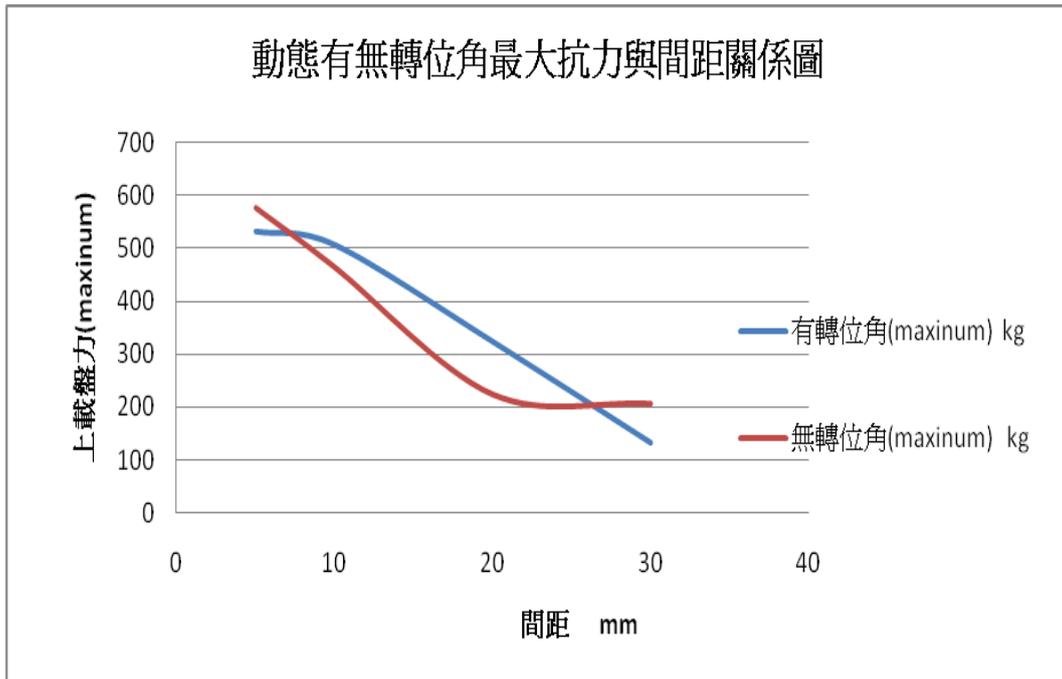


圖 3.12: N35H 塊狀磁浮盤動態有無轉位角間距及最大抗力之比較

由表 3.4 數據顯示，有轉位角、無轉位角在動態旋轉時，其所呈現出來的數值不一，甚至有轉動不穩狀態發生，但唯一可以確定的是在有轉位角的動態分析裡面，所有的模擬數值幾乎都是穩定狀態，這項數據可探討出塊狀磁浮盤要旋轉時，只要有起步角的加入(即磁力線有切割)，可使旋轉狀態趨於穩定。

(b) 最大震動幅度比較

表 3.5: N35H 塊狀磁浮盤動態有轉位角間距及最大振幅之比較

動態有轉位角之振幅比較				
項次	間距 mm	有轉位角最大抗力 kg	有轉位角最小抗力 kg	最大振幅 kg
1	5	532.906	532.906	$2 \times 10^{-6}$
2	10	507.273	507.273	0
3	20	323.22	323.22	0
4	30	130.99	130.99	0

表 3.6: N35H 塊狀磁浮盤動態無轉位角間距及最大振幅之比較

動態無轉位角之振幅比較				
項次	間距 mm	有轉位角最大抗力 kg	有轉位角最小抗力 kg	最大振幅 kg
1	5	576.55	540.658	35.892
2	10	464.46	406.959	57.501
3	20	224.683	224.683	0
4	30	207.186	207.186	0

比較表 3.5、表 3.6 數據顯示，有轉位角的振幅幾乎為零，但無轉位角在 5 mm、10 mm 最大振幅率落在 6.2%、12.4%，由此可以顯示磁浮盤在同等參數的情況下，有轉位角比無轉位角來的穩定。

#### 四、結論

本論文主要探討：一、磁鐵磁塊組成的磁浮抗重盤所能產生之磁抗力、穩定性比較；二、延展至垂直軸風力發電機上進行抗重效果。由本研究所分析 N35H 磁鐵之磁浮抗重盤的靜磁抗力配合有轉位角與無轉位角之磁浮抗重盤的靜磁力的穩定性得到下列幾點結論。

塊狀磁浮抗重盤之研究結果

##### (一) N35H 磁鐵之磁浮抗重盤靜磁力比較結果

a. 當塊狀磁浮抗重盤在無、有轉位角比較時，其 5、10、20、30 mm 間距的抗重百分比差距分別是 0.05%、0%、7.99%、0.32%，分析數據顯示出靜態分析時的差距其大多沒有差很大。

b. 在間距 20 mm 時的分析結果來看，所顯示出的抗力稍微有差距，這可能是在間距 20 mm 時，恰好是有轉位角磁力線最稀疏的地方，故抗力比無轉位角來的不穩。

##### (二) N35H 磁鐵之磁浮抗重盤動態穩定性比較結果

a. 當上磁浮抗重盤在 5 mm、10mm、20mm、30mm 間距下分析時(60rpm 旋轉下)，其有、無轉位角共同的特點是間距越大，震動幅度越小，這是因為當磁浮抗重盤間距越大，磁力影響的震動就會減少，原因是磁抗盤在間距較大的情況下，磁隙產生的干擾越小，故大多只靠 z 軸方向的磁抗力來克服地心引力，比較不會有 x 方向或 y 方向的磁吸力產生而影響磁抗力。

b.在無轉位角動態模擬時，其 5 mm、10 mm 所分析出來結果，其旋轉略為不穩，最大震幅分別是 37.9kg、57.5kg，振幅百分比分別是 6.2%、12.4%，這與 a 點的結論略同。

c.綜合以上動態之模擬結果，有轉位角(即起步角)比無轉位角旋轉來的穩定。

#### 肆、參考文獻

- 【1】 台灣電力公司全球資訊網站--新聞廣場
- 【2】 胡業發、周祖德、江征風著，磁力軸承的基礎理論與應用，機械工業出版社，2006.3
- 【3】 周壽增、董清飛，超強永磁體—稀土鐵系與磁材料，冶金工業出版社， 2004 年 2 月
- 【4】 牧野 昇，譯者 林子銘，永久磁鐵設計與應用，正言出版社，1966 年
- 【5】 寧波明瑞磁性材料有限公司，  
<http://www.magnets-products.com/sdp/166622/3/cp-1082410.html>
- 【6】 鄭振東，實用磁性材料，p4-57~p4-58，88 年 6 月
- 【7】 磁力應用工程，李文彬著，兵器工業出版社，1991 年 10 月。