

國立交通大學  
機械工程學系  
碩士論文

橢圓激震器之設計與應用研究  
The Design and Application of Elliptic  
Electrodynamic Exciter

The logo of National Tsing Hua University is a circular seal. It features a blue gear-like outer ring. Inside the ring, there is a stylized design with the letters 'NTHU' and the year '1896' at the bottom.

研究生：王崧任

指導教授：金大仁 教授

中華民國九十四年七月

橢圓激震器之設計與應用研究

The Design and Application of Elliptic  
Electrodynamic Exciter

研究生：王崧任

Student: Sung-Jen Wang

指導教授：金大仁 教授

Advisor: Tai-Yan Kam

國立交通大學  
機械工程學系  
碩士論文



Submitted to Department of Mechanical Engineering  
College of Engineering  
National Chiao Tung University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Science  
in  
Mechanical Engineering

July 2005

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年七月

## 致 謝

本篇論文的完成，要感謝我的指導老師金大仁教授在課業上及研究上的悉心指導，以及在生活上各方面的關心與教誨，在此至上最高之謝意。

另外更要感謝父母親多年來含辛茹苦的教養與無微不至的關懷，以及哥哥姐姐的支持與照顧，讓我能順利無憂的完成碩士學業。還要感謝偉芬學姐、清榮學長、志明學長、昌毅學長、于昇學長、巧玲學姐、志鴻學長、鎮隆學長、國晉學長、加融學長及耀文學長在學業、研究及生活上的指導與協助，和實驗室張小姐在生活上的協助與幫忙，以及建郎、維成兩位好同學與建勳、欣翰、慶博、哲偉四位學弟的切磋和幫忙，並要感謝所有幫助過我的人。最後僅將本文獻給我的家人、師長與朋友。



# 橢圓激震器之設計與應用研究

研究生：王崧任

指導教授：金大仁

國立交通大學機械工程學系

## 摘要

本文主要探討電磁動圈式激震器對揚聲器聲壓的改良設計。本文中有限元素分析軟體 ANSYS 對橢圓形激震器與改良型態之圓形激震器進行磁通密度的分析模擬。利用 ANSYS 軟體分析所得的激震器氣隙磁通密度分布情形來進行激震器的改良設計，並且實際製作，最後比較及討論其實驗值與分析模擬值。

之後，將繼續研究揚聲器的振動行為。由於揚聲板的振動行為是非常複雜的，所以我們將實際的模型簡化為一維自由度的振動模型。將模擬的振幅假設為揚聲器的振幅代入簡化後的一維聲壓公式，接著實際量測一揚聲器之聲壓並與一維聲壓理論值比較與驗證其可用性。利用上述的方法並在揚聲器既定週邊配合及聲壓期望目標條件下，將所得的結果搭配 ANSYS 的模擬，最後可得到一激震器最佳的設計。

# The Design and Application of Elliptic Electrodynamic Exciter

Student : Sung-Jen Wang

Advisor : Professor Tai-Yan Kam

Department of Mechanical Engineering  
National Chiao Tung University

## Abstract

This paper is focused on the design of electrodynamic exciters for the improvement of the loudspeaker sound pressure. The finite element analysis software that is called ANSYS is used to analyze and simulate the flux density of elliptic and circular electrodynamic exciter in this paper. We improve the design of electrodynamic exciter according to the flux density distribution in the air gap which results from ANSYS and then put into practice, eventually we compare and discuss between the results of experiments and simulations.

After that, we will keep going on studying the vibration motion of the speakers. We reduce the real model to a single degree of freedom model as a vibration model due to the complicated computation of the vibration plate. Replace the amplitudes of speaker by the amplitudes which result from simulations and take those into the simplified sound pressure equation, then compare the sound level resulting from experiments with which result from theoretical calculation and prove the workability in the reduced model.

## 目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
第一章 緒論 .....	1
1-1 前言 .....	1
1-2 文獻回顧 .....	1
1-3 研究方向 .....	2
第二章 磁性物理基本定義與磁場理論 .....	3
2-1 磁性物理基本定義 .....	3
2-2 磁場理論 .....	5
2-2-1 勞侖茲力 .....	5
2-2-2 磁的邊界條件 .....	6
2-2-3 理想磁路 .....	6
第三章 激震器靜態磁場分析 .....	9
3-1 磁場分析 .....	9
3-1-1 材料常數 .....	9
3-2 二維有限元素分析 .....	9
3-2-1 二維分析相關假設 .....	10
3-2-2 二維分析模型 .....	10
3-3 三維有限元素分析 .....	11
3-3-1 三維分析相關假設 .....	11

3-3-2 三維分析模型.....	11
第四章 激震器組裝與磁通密度量測 .....	13
4-1 橢圓形激震器之組裝 .....	13
4-2 磁通密度之量測 .....	14
4-3 實驗值與分析模擬值比較 .....	14
第五章 提升磁通密度之改良比較 .....	16
5-1 激震器各尺寸對氣隙磁通密度的影響 .....	16
5-2 橢圓形激震器磁通密度之提升 .....	17
5-3 不同型態設計對磁通密度之提升 .....	18
5-3-1 圓形激震器之改良 .....	19
5-3-1-1 固定不變之條件 .....	19
5-3-1-2 分析模型之驗證 .....	19
5-3-1-3 各型態對磁通密度影響之比較與討論 .....	20
5-3-2 橢圓形激震器之相似改良 .....	21
5-3-2 橢圓形激震器之相似改良 .....	21
5-3-2-1 固定不變之條件 .....	21
5-3-2-2 分析模型之驗證 .....	21
5-3-2-3 各型態對磁通密度影響之比較與討論 .....	22
5-3-3 反磁片尺寸對激震器的影響 .....	22
第六章 激震器對揚聲器聲壓之影響 .....	23
6-1 單一自由度振動響應 .....	23
6-2 單一自由度聲壓公式 .....	24
6-3 實測揚聲器聲壓 .....	26
6-4 激震器對揚聲器的影響 .....	27
6-4-1 音圈與激震器之搭配 .....	27

6-4-2 考慮聲壓選擇激震器.....	28
第七章 結論與未來研究方向 .....	31
7-1 結論 .....	31
7-2 未來研究方向 .....	32
參考文獻.....	33



## 表目錄

表 3-1 二維收斂模型尺寸表 .....	35
表 3-2 材料常數 .....	35
表 3-3 三維收斂模型尺寸表 .....	35
表 4-1 橢圓形激震器實做尺寸 .....	36
表 4-2a 第一組橢圓形激震器實做材料參數 .....	36
表 4-2b 二、三、四組橢圓形激震器實做材料參數 .....	36
表 4-3a 第一組橢圓形激震器實際量測值(Tesla) .....	37
表 4-3b 第二組橢圓形激震器實際量測值(Tesla) .....	37
表 4-3c 第三組橢圓形激震器實際量測值(Tesla) .....	37
表 4-3d 第四組橢圓形激震器實際量測值(Tesla) .....	38
表 4-4a 圓形激震器實做尺寸 .....	38
表 4-4b 圓形激震器實做材料參數 .....	38
表 4-5 圓形激震器分析與量測值比較(Tesla) .....	39
表 5-1 驗證用基本尺寸及磁通密度 .....	39
表 5-2a 具反磁激震器實物材料參數 .....	39
表 5-2b 具反磁激震器實物尺寸 .....	40
表 5-3 具反磁激震器實驗與分析之比較 .....	40
表 6-1 揚聲器重要參數 .....	40
表 6-21000Hz 之聲壓 .....	41

## 圖目錄

圖 1.1a 電磁動圈式揚聲器上視圖.....	42
圖 1.1b 電磁動圈式揚聲器側視半剖面圖 .....	42
圖 1.1c 電磁動圈式揚聲器四分之三剖面爆炸圖 .....	43
圖 2.1 磁性材料的磁化曲線 .....	44
圖 2.2 永磁材料的退磁曲線 .....	44
圖 2.3 稀土鈷磁體的矯頑磁力曲線 .....	44
圖 2.4 各種磁石退磁特性曲線 .....	45
圖 2.5 內磁式激震器 .....	45
圖 2.6 在兩種介質的邊界上做一個高斯表面和一條閉和路線 .....	45
圖 2.7 理想磁路 .....	46
圖 3.1 內磁式與外磁式激震器 .....	46
圖 3.2 磁場分析流程 .....	47
圖 3.3 二維幾何模型 .....	48
圖 3.4 二維幾何示意圖 .....	48
圖 3.5 二維模型的元素收斂範圍 .....	49
圖 3.6 二維收斂元素模型 .....	49
圖 3.7 三維上視幾何模型 .....	50
圖 3.8 三維幾何示意圖 .....	50
圖 3.9 三維幾何模型 .....	51
圖 3.10 三維模型的元素收斂範圍 .....	51
圖 3.11 三維元素模型 .....	52
圖 4.1 組裝前之激震器零件 .....	52
圖 4.2 組裝定位用置具 .....	53

圖 4.3	上導磁片上膠區域示意圖 .....	53
圖 4.4	餘膠硬化防滑示意圖 .....	54
圖 4.5a	高斯計主機 .....	54
圖 4.5b	高斯計探針 .....	55
圖 4.5c	高斯計探針尖端處 .....	55
圖 4.5d	輔助歸零器 .....	56
圖 4.6a	量測磁通密度架設(整體) .....	56
圖 4.6b	量測磁通密度架設(近照) .....	57
圖 4.7	橢圓形長軸處氣隙磁通密度厚度方向分佈 .....	57
圖 4.8	橢圓形短軸處氣隙磁通密度厚度方向分佈 .....	58
圖 4.9	圓形氣隙磁通密度厚度方向分佈 .....	58
圖 5.1a	磁石高度對圓激震器的影響 .....	59
圖 5.1b	磁石高度對橢圓激震器的影響 .....	59
圖 5.2	氣隙寬度對激震器的影響 .....	60
圖 5.3	上導磁片厚度對激震器的影響 .....	60
圖 5.4	下導磁片厚度對激震器的影響 .....	61
圖 5.5	導磁壁厚度對激震器的影響 .....	61
圖 5.6a	橢圓激震器長短軸比對氣隙磁通密度之影響 .....	62
圖 5.6b	橢圓激震器不同長短軸比的氣隙磁通密度分佈 .....	62
圖 5.6c	路徑示意圖 .....	63
圖 5.7	圓音圈橢圓外磁式激震器幾何模型 .....	63
圖 5.8	長軸長度與磁通密度關係圖 .....	64
圖 5.9	內圓半徑與磁通密度關係圖 .....	64
圖 5.10	磁體體積與磁通密度關係圖 .....	65
圖 5.11	具反磁片激震器之二維模型 .....	65

圖 5.12 二維具反磁片模型收斂驗證曲線 .....	66
圖 5.13 具反磁激震器尺寸圖 .....	66
圖 5.14a 基本尺寸磁力線分佈圖 .....	67
圖 5.14b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖 .....	67
圖 5.15a 蓋子形導磁片磁力線分佈圖 .....	68
圖 5.15b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖 .....	68
圖 5.16a 組裝不需上膠型磁力線分佈圖 .....	69
圖 5.16b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖 .....	69
圖 5.17a 厚度 1mm 外反磁片磁力線分佈圖 .....	70
圖 5.17b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖 .....	70
圖 5.18a 厚度 1mm 內嵌反磁片磁力線分佈圖 .....	71
圖 5.18b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖 .....	71
圖 5.19a 厚度 1mm 內嵌反磁片磁力線分佈圖 .....	72
圖 5.19b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖 .....	72
圖 5.20a 瓶塞型反磁片磁力線分佈圖 .....	73
圖 5.20b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖 .....	73
圖 5.21 具反磁片激震器之三維模型 .....	74
圖 5.22 三維具反磁片模型收斂驗證 .....	74
圖 5.23a 蓋子形導磁片模型 .....	75
圖 5.23b 蓋子形導磁片磁通密度分佈情形 .....	75
圖 5.24a 厚度 1mm 外反磁片模型 .....	76
圖 5.24b 厚度 1mm 外反磁片磁通密度分佈情形 .....	76
圖 5.25 反磁片半徑對激震器的影響 .....	77
圖 5.26 反磁片厚度對激震器的影響 .....	77
圖 6.1 單一自由度振動響應模型 .....	78

圖 6.2	頻率阻抗曲線 .....	78
圖 6.3	聲壓曲線 .....	79
圖 6.4	音圈基本幾何模型 .....	79
圖 6.5a	捲福高度小於氣隙磁區高度.....	80
圖 6.5b	捲福高度大於氣隙磁區高度 .....	80
圖 6.5c	捲福高度與氣隙磁區高度相等.....	80
圖 6.6	以目標聲壓搭配周邊考慮激震器與音圈流程 .....	81



## 第一章 緒論

### 1-1 前言

揚聲器結構可概略分為外部的音箱、振動板、及內部的激震器。揚聲器根據激震器驅動的方式可分為電磁型揚聲器、帶型揚聲器、靜電型揚聲器、電磁動圈式揚聲器及壓電型揚聲器。由於成本低廉且製程成熟，電磁動圈式揚聲器是目前市場上最普遍可見的。其運作原理為將音圈置於激震器氣隙的磁場內，當交流電流通過音圈時，由於電磁感應會產生推力使音圈前後振動並同時帶動振動板，振動板因而推動空氣發出聲音。其構造如圖 1.1 所示。近年來研究出的永磁材料，是由釧系金屬和過度金屬製成的永磁合金，因為其矯頑磁力大且磁能高，使得推力大、聲壓感度好的揚聲器能夠製成。就長型揚聲器而言，圓形激震器尺寸受限於揚聲器寬度，造成推力有其極限。因此橢圓形激震器的研究及改良激震器使揚聲器能獲得更佳的聲壓感度便成了一個重要的研究方向。



### 1-2 文獻回顧

揚聲器是一種能量轉換的儀器，即所謂的傳感器(Transducer)，此種裝置可以將輸入的能量轉換成另一種形式的能量輸出[1]。揚聲器裝置最早出現的紀錄是在 100 多年前，由 Alexander Graham Bell 所研發出的專利，也就是 telephone receiver[2]。Bell 原始的設計構造是一個馬蹄型磁鐵，在兩極上用線圈纏繞，而振膜則是一片薄金屬片，振膜與兩極的間隙越小越好。此種裝置的共振頻率約在 900 HZ，在說話的頻率範圍內可提高 20 dB。而這種型態的設計持續了近 3/4 個世紀，其間主結構的設計都相同，只是在材料上或是細部做改進。1910 年，Baldwin 發表了 balanced armature 的設計。此裝置改進了 Bell 設計的缺點，因為它在靜止狀態下不會有極化產生的磁流通過薄金屬片，所以在穩態的磁場中不會產生 negative stiffness，因而提

高整個裝置的敏感度。這種優良的特性使它在未來的 10-15 年的無線廣播時代扮演著重要的角色[3]。直到動圈式激震器的出現才取代了 Baldwin 的裝置。1874 年，Siemens 發表第一篇關於動圈式激震器的文章[4]。1925 年，Rice 與 Kellogg 則共同發表了一篇文章，描述揚聲器的幾個重要參數以及一個典型的動圈式激震器架構等等。這是一篇揚聲器發展的指標性文章。此時由於無線廣播的流行，刺激了揚聲器的發展[5]。1981 年，Gander 發表一篇關於動圈式激震器揚聲器的完整架構說明文章，從激震器磁場分佈、出力等等，並以實驗測出不同情況的頻率響應圖。而後更有利用電腦來模擬揚聲器聲壓[6-7]。

### 1-3 研究方向

本文主要探討電磁動圈式激震器對揚聲器聲壓的改良設計。其一為橢圓形激震器之研究，由於橢圓形激震器是主軸對稱結構，所以將四分之一橢圓的模型利用有限元素分析軟體 ANSYS 進行靜態磁場分析，求出激震器氣隙磁場的磁通密度值。並改變不同的結構參數，觀察這些參數對氣隙磁場的磁通密度大小會有哪些影響，利用分析所得進行激震器結構的設計。

其二為激震器防漏磁之研究，激震器在等厚度、氣隙寬度及相同半徑下，唯有將散漏的磁力抓回氣隙處才能有效提升氣隙磁通密度。其中由於圓形激震器是軸對稱結構，可以建立二維剖面模型利用有限元素分析軟體 ANSYS 進行靜態磁場分析，求出激震器氣隙磁場的磁通密度值。在改變不同的設計型態後，觀察這些型態對氣隙磁場的影響，利用分析所得進行激震器之防漏磁改良設計。

之後，將繼續研究揚聲器的動態行為分析。由於揚聲器在第一自然頻率  $F_s$  的運動情形為剛體運動，所以我們可以利用一維振動模型模擬，並將模擬的振動量假設為揚聲器的振幅代入簡化後的一維聲壓公式。根據此聲壓公式，進而探討揚聲器在各項目標條件下，選用最適當激震器的方法。

## 第二章 磁性物理基本定義與磁場理論

### 2-1 磁性物理基本定義

在本文中分析激震器所使用到的相關磁性物理參數定義如下：

磁場強度  $H$  (Magnetic field intensity)：單位磁量所受到的力。

$$H = \frac{F}{Q_m} = \frac{Q_m}{4\pi\mu_0 R^2} a_R \quad (2.1)$$

$F$ ：磁體(或稱磁極)在磁場中受的力。

$Q_m$ ：磁體所具的磁極強度。

$R$ ：兩磁體間的距離，其方向以 $a_R$ 表示。

$\mu_0$ ：真空導磁率。

磁化強度  $M$  (Intensity of Magnetization)：不同物質在磁場中所受到不同的磁化程度。

$$M = KH \quad (2.2)$$

$K$ ：各種物質的磁化率

導磁係數  $\mu$  (Permeability)，為某一已知材料對磁力線通過的容易程度。

真空導磁率  $\mu_0$  (Permeability of vacuum)：

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \quad (2.3)$$

相對導磁率  $\mu_r$  (Relative permeability)：

$$\mu_r = 1 + K \quad (2.4)$$

絕對導磁率  $\mu$  (Permeability)：

$$\mu = \mu_0 \mu_r = \mu_0 (1 + K) \quad (2.5)$$

磁通  $\Phi$  (Magnetic flux)，或稱為磁力線，通過某一面之磁通，必定為磁通密度  $B$  與面之積分。

$$\Phi = \int B \cdot dS \quad (2.6)$$

磁通密度  $B$  (Magnetic flux density)，磁通與面積之比。在磁場的作用下，物質的磁通密度  $B$  由兩部分組成，為磁場強度  $H$  和磁化強度  $M$ 。磁通密度  $B$  和磁場強度的關係式為：

$$\begin{aligned} B &= \mu_0 H + \mu_0 M \\ &= \mu_0 (1 + K) H \\ \mu_r &= 1 + K \\ B &= \mu_0 \mu_r H \\ &= \mu H \end{aligned} \quad (2.7)$$

磁性材料在磁場作用下，磁場強度  $H$  與磁通密度  $B$  的關係式並非線性關係，如圖 2.1 所示。磁場增大時，磁通密度  $B$  沿著 oabc 曲線變化，到達 b 點時飽和，因此  $B_s$  稱飽和磁通密度， $H_s$  稱飽和磁場強度，而曲線 oabc 稱之為初始磁化曲線。當磁場減少時會出現磁滯現象，曲線按 cbde 變化，這種磁滯現象是與磁場強度改變相關，與速率改變無關的磁通密度不可逆變化。曲線 cbde 稱之為磁滯曲線。當磁通密度降為零的磁場強度稱為矯頑磁力  $H_c$  (Coercive force)。磁性材料的矯頑磁力越高，磁化後越容易保持磁性。剩磁  $B_r$  是指將磁性材料從飽和狀態起，變化磁場為零時所得到的磁通密度值。

永磁材料特性可用退磁曲線來描述。退磁曲線是指磁滯曲線位於第二象限的部分如圖 2.2 所示。磁通密度和磁場強度的關係式為  $B = H + 4\pi M$ ，可畫出  $B-H$  關係圖。若以  $4\pi M = B-H$  之關係式而言可畫出  $4\pi M$  與  $H$  的關係曲線，因此會得到兩個矯頑磁力， $BH_C$ 、 $MH_C$  (或  $iH_C$ )。  $MH_C$  稱為內稟矯頑磁力。通常矯頑磁力所指的是  $BH_C$ 。稀土鈷磁體的兩種矯頑磁力差別較大，如圖 2.3 所示。  $MH_C$  的絕對值一定大於  $BH_C$ 。

目前永磁材料依其用途約可分為四類，圖 2.4 為其退磁特性曲線。

- (1) 釹鐵硼磁石為最具有高矯頑磁力與高儲存能量的材料。是之中最適  
合用於揚聲器這種需要極高磁通密度的場合。其最高允許工作溫度  
在 80°C 至 200°C 之間。根據不同製程，其特性又略有不同。以燒結  
成形之釹鐵硼磁石矯頑磁力較高，而粘結成形則較容易製造不規則  
外型之磁石。
- (2) 鋁鎳鈷磁石則為最易加工且耐腐蝕之磁性材料。雖然其矯頑磁力最  
小，但也最具溫度穩定性。其可承受之最高工作溫度約 500°C。
- (3) 鐵氧體磁石則為最具經濟效益之磁性材料。其優於鋁鎳鈷磁石之矯  
頑力與高於釹鐵硼磁石之最高允許工作溫度(約 200°C)，使其成為  
最常見之磁性材料。
- (4) 鈰鈷磁石為一種晶體結構強之單軸異方性磁石，屬於稀土鈷磁體。  
其高矯頑力特性使其成為早期激震器常用之磁性材料。由於其具有  
單軸異方性，因此在成形未充磁前即已決定其磁力方向，而充磁時  
才確定其極性。其可承受之最高工作溫度約 300°C。

## 2-2 磁場理論

### 2-2-1 勞倫茲力(Lorentz force)

如圖 2.5 為一個圓形激震器的剖面模型。當音圈通電後會受到電磁力 (Lorentz force) 而開始作上下運動。若音圈的總長度為  $L$ ，電流為  $I$ ，則在磁場中，音圈會受到一個垂直磁場方向與電流方向的力量  $F$ 。激震器的磁路設計，即是在音圈的放置範圍內，提供一個橫方向近似均勻的磁場。其推力的關係式如下：

$$\vec{F} = \int (\vec{I} \times \vec{B}) dl \quad (2.8)$$

其中  $B$  為磁通密度，單位為  $T$  (Tesla)；電流  $I$  的單位為  $A$  (安培)；力量

$F$  的單位為 N(牛頓)。三者的方向關係可用佛來明左手定則表示，中指為電流方向，食指為磁場方向，大拇指則為力量的方向。因為我們所需要的推力方向固定，亦即使音圈上下振動的方向，所以式(2.8)可以簡化為純量關係式：

$$F = BLI \quad (2.9)$$

### 2-2-2 磁的邊界條件

假設有兩種等向、均勻的線性材料，其導磁係數分別為 $\mu_1$ 和 $\mu_2$ ，在邊界上做一個高斯表面和一條閉和路線如圖 2.6。由磁場高斯定律

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \quad (2.10)$$

可以發現

$$B_{N1} \Delta S - B_{N2} \Delta S = 0 \quad (2.11)$$

因此

$$B_{N2} = B_{N1} \quad (2.12)$$

而

$$H_{N2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} H_{N1} \quad (2.13)$$

其中 $B_{N1}$ 和 $B_{N2}$ 分別表示兩種材料在邊界上法線向量的磁通密度分量。可以發現，在邊界上 $B$ 的法線分量是連續的，而 $H$ 的法線分量則是不連續差一個 $\mu_1/\mu_2$ 的比值。

### 2-2-3 理想磁路

假設一個包含氣隙磁路為理想磁路，亦即在一個不會產生漏磁的情況下，空氣間隙裡的磁通量  $\Phi(\text{flux})$  與磁體中的磁通量必須相同，如圖 2.7 所示。因此有以下關係式：

$$B_m A_m = B_g A_g \quad (2.14)$$

其中 $B_m$ 與 $A_m$ 表示磁體的磁通密度與磁體截面積， $B_g$ 與 $A_g$ 表示氣隙磁通密度與氣隙的截面積。同時由於能量不減，氣隙裡的磁動力(Magnetomotive force)與磁體中的磁動力亦相同，可表示為

$$H_m L_m = H_g L_g \quad (2.15)$$

其中 $H_m$ 與 $L_m$ 表示磁體的磁場強度與磁體長度， $H_g$ 與 $L_g$ 表示氣隙磁場強度與氣隙長度。

然而在實際的狀況下，漏磁是無法避免的，因此會與理想磁路的狀況有些差別。由於並非所有磁體產生的磁力線都會通過氣隙，有些磁力線會從氣隙旁通過或甚至繞更大圈。因此我們定義出兩個修正係數來修正理想的磁路模型，

$$\begin{aligned} p &= \frac{\text{total\_magnet\_flux}}{\text{total\_flux\_in\_the\_air\_gap}} \\ q &= \frac{\text{total\_magnetomotive\_force}}{\text{gap\_magnetomotive\_force}} \end{aligned} \quad (2.16)$$

由上式可知  $p$  與  $q$  均將是大於 1 的值，可將其表示為以下兩式：

$$p = \frac{\Phi_m}{\Phi_g} = \frac{B_m A_m}{B_g A_g} \quad (2.17)$$

$$q = \frac{F_m}{F_g} = \frac{H_m L_m}{H_g L_g} \quad (2.18)$$

其中 $\Phi_m$ 為磁體的磁通量(Wb)， $\Phi_g$ 為氣隙的磁通量(Wb)； $F_m$ 為磁體的磁動力(A)， $F_g$ 為氣隙的磁動力(A)。

若我們已經知道兩個修正係數  $p$ 、 $q$ ，則可以由公式直接求出氣隙磁通密度的值。先將式(2.17)、(2.18)相乘可得

$$pq = \frac{B_m A_m H_m L_m}{B_g A_g H_g L_g} \quad (2.19)$$

其中  $H_g = \frac{B_g}{\mu_0}$ ， $\mu_0$  為空氣的導磁係數約為  $4\pi \times 10^{-7}$  H/m。所以式(2.19)就可以

化簡為

$$pq = \frac{B_m A_m H_m L_m \mu_0}{B_g^2 A_g L_g} \quad (2.20)$$

因此由修正係數求得之  $B_g$  為

$$B_g = \sqrt{\frac{B_m A_m H_m L_m \mu_0}{pq A_g L_g}} \quad (2.21)$$



### 第三章 激震器靜態磁場分析

電磁動圈式激震器的構造常見有內磁式與外磁式兩種，如圖 3.1。內磁式結構漏磁較小，氣隙磁通密度較高，但是組裝較不易。外磁式結構組裝容易，但是漏磁較大，其氣隙磁通密度略差於內磁式結構。本文主要是探討激震器在橢圓形化及防漏磁設計後，其氣隙磁通密度與尺寸結構因素的關係。

#### 3-1 磁場分析

靜態磁場的數值分析採用有限元素法，利用有限元素分析軟體 ANSYS 建立模型，經過適當的網格分割後，給予適當的材料參數及邊界條件狀況，做靜態磁場分析。整個分析步驟流程如圖 3.2 所示。配合數值處理軟體 Excel 繪出各種尺寸結構參數與氣隙磁通密度間的關係曲線。

##### 3-1-1 材料常數

激震器的封閉磁路是由磁體與導磁體相互配合設計獲得，分析中使用的材料有：(a)矽鐵，(b)永久磁鐵(釹鐵硼)，(c)空氣三種，其對應的材料常數如表 3-1 所示。分析時需要定義的材料參數有相對導磁係數(Relative Permeability  $\mu_r$ )與矯頑磁力(Coercive Force  $H_c$ )。永久磁鐵本身具有固定的磁場方向，所以除了非等向均勻的矯頑磁力外，其餘材料特性均為等向且均勻。

#### 3-2 二維有限元素分析

由於圓形激震器為軸對稱結構，因此我們可以將分析模型簡化為二維半剖面。如此不但可以縮短分析所需時間，同時也方便模型之建立。

### 3-2-1 二維分析相關假設

在二維模擬分析過程中，我們做了以下的假設：

- (1) 由於探討的激震器磁場分析是屬於穩定靜態磁場，不包含音圈，所以沒有電流影響。因此符合真空中穩態磁場的狀況，方程式(2.11)的邊界條件亦適用。
- (2) 探討的激震器為圓形結構，根據軸對稱的觀念，以 Y 軸為對稱軸，將模型簡化成半個剖面來進行分析。
- (3) 永久磁鐵的磁極方向為 N 極在上，S 極在下，磁體內部的磁力線為平行於 Y 軸方向。
- (4) 為了使模擬更接近真實的環境，所以在激震器模型之外有一個空氣的區域，邊界條件設定為磁力線平行於空氣區域的四邊，來表示空氣區域為一個無窮大的區域，磁力線無法穿越這個區域。

### 3-2-2 二維分析模型

模擬分析時，先以 ANSYS 建模指令 Rectng 畫出如圖 3.3 由多個四邊形所構成的半剖面模型，其外型尺寸見圖 3.4 之示意圖及表 3-1。使用 Overlap 將重疊的部分合併成單一面積，接著輸入表 3-2 之材料參數，並選用 PLANE53 將其參數設為軸對稱(Axisymmetric)。在給予對應材料參數並作適當的網格分割後，將最外圍之邊線及 Y 軸設為磁力線平行不可通過之邊界，即可進行氣隙磁通密度之分析。

激震器模型及邊界條件都已經決定之後，網格分割元素的大小影響著模擬的精確度。元素切割的越小，模擬所獲得的值越精確，但是分析值會有收斂性，因此為了減少模擬計算的時間，我們首先對 ANSYS 有限元素分析的收斂性進行探討。整個二維的軸對稱模型可區分為兩個部分，空氣及激震器。由於我們注重的是激震器氣隙的磁通密度，所以激震器區域用較小的元素，而空氣區域用較大的方形元素，邊長為 2 mm。激震器包含磁體、

導磁體兩部分，此部分的元素越小，分析值越精確。為了探討分析值的收斂範圍，我們將元素的大小分為 0.4 mm、0.2 mm、0.1 mm、0.05 mm 四種，分析的結果如圖 3.5 所示。我們可以發現，在元素大小為 0.1 mm 時，氣隙磁場的分析值已達到收斂，因此未來的模擬中，激震器部分的元素大小皆定為 0.1 mm，其分割模型如圖 3.6 所示。

### 3-3 三維有限元素分析

由於橢圓形激震器為主軸(長短軸)對稱結構，因此我們可以將分析模型簡化為三維四分之一橢圓柱體，縮短分析所需時間。

#### 3-3-1 三維分析相關假設

在三維模擬分析過程中，我們做了以下的假設：

- (1) 相同於二維分析仍然符合真空中穩態磁場的狀況，方程式(2.11)的邊界條件同樣適用。
- (2) 探討的激震器為橢圓形結構，根據主軸對稱的觀念，以長軸(X軸)及短軸(Y軸)為對稱軸，將模型簡化成四分之一來進行分析。
- (3) 永久磁鐵的磁極方向為 N 極在上，S 極在下，磁體內部的磁力線為平行於 Z 軸方向。
- (4) 為了使模擬更接近真實的環境，所以在激震器模型之外有一個空氣的區域，邊界條件設定為磁力線平行於空氣區域的五面，來表示空氣區域為一個無窮大的區域，磁力線無法穿越這個區域。

#### 3-3-2 三維分析模型

針對不同的長短軸比率設定 Local 橢圓座標系統，並分別建立點、線、面成圖 3.7 所示之四分之一橢圓模型上視圖，其外型尺寸見圖 3.8 之示意圖及表 3-3。接著使用 Extrude 功能往 Z 方向長出如圖 3.9 之四分之一橢圓柱

體模型。再使用 Overlap 將重疊的部分合併成單一體積。接著輸入表 3-2 之材料參數並選用元素 Solid97。在給予對應材料參數並作適當的網格分割後，將最外圍之橢圓弧面與上下底面及 XZ 平面、YZ 平面設為磁力線平行不可通過之邊界，即可進行氣隙磁通密度之分析。

激震器模型及邊界條件都已經決定之後，網格切割元素的大小影響著模擬的精確度。元素切割得越小，模擬所獲得的值越精確，但是分析值會有收斂性，因此為了減少模擬計算的時間，我們首先對 ANSYS 有限元素分析的收斂性進行探討。整個模型主要可區分為三個部分，空氣、氣隙及激震器。由於我們注重的是激震器氣隙的磁通密度，所以氣隙區域用較小的元素，而空氣區域用較大的六面體元素。元素的切割法大致分成三個步驟，橢圓弧線部分切割成 30 等分，其餘直線部分每 1mm 為一單位元素之邊長。氣隙剖面則採用 2 等分×4 等分、4 等分×4 等分、4 等分×6 等分、6 等分×8 等分、8 等分×10 等分。分析結果由圖 3.10 可看出在氣隙磁區為 6 等分×8 等分之分割單元時，其分析結果已與 8 等分×10 等分之分析結果相近且收斂。因此往後之分析模型，皆以此種分割方式進行分析討論，其分割模型如圖 3.11 所示。

## 第四章 激震器組裝與磁通密度量測

### 4-1 橢圓形激震器之組裝

磁體及導磁體經由加工後，我們可以獲得圖 4.1 所示之橢圓形導磁片、外 U 形導磁體及磁體。在組裝時，為了定位的精準及方便，我們同時製作了一橢圓形置具如圖 4.2 所示。組裝之過程如下描述：

- (1) 先在磁體上下表面塗上一層極薄而均勻之強力樹脂，並藉由置具定位將磁體與上導磁片及外 U 形導磁鐵黏合。
  - A. 由於上導磁片與磁體黏著時，會將樹脂擠壓排出至側表面，影響預期之氣隙磁區空間並黏住置具。因此在磁體上表面上膠時，需將塗膠區域略微縮小預留排膠空間如圖 4.3 之示意圖。另外置具也需於表面塗上一層脫模臘，避免組裝完成後置具無法移除之情形。
  - B. 在組裝磁體下表面與外 U 形導磁體時所產生之相似排膠情形則反而有利於激震器之組裝。由於磁體充磁後具有極強之磁力，因此一旦黏著處鬆動，便極難將激震器復原。然而因為受擠壓排出之樹脂在硬化之後，成為了阻擋磁體滑動之絆腳石如圖 4.4 之示意圖。因此在黏著下表面有微量的樹脂排出反而有利於激震器之組裝固定。
- (2) 將組裝好的激震器連同置具放入烤箱中加熱，並在激震器上方放一重物使夾層中多餘的樹脂排出，如此可以減小樹脂層的不良導磁性對氣隙磁通密度的影響。
- (3) 加熱的過程為  $80^{\circ}\text{C}$  維持 30 分鐘，此階段之目的為軟化樹脂使多餘的樹脂更容易排出。接著以  $140^{\circ}\text{C}$  加熱 90 分鐘使樹脂完全硬化。
- (4) 待冷卻，將置具拔下後充磁便完成激震器之組裝製作。

## 4-2 磁通密度之量測

量測磁通密度之儀器為 F.W.BELL 公司出產的高斯計，其外觀如圖 4.5 所示。而其量測方式為：

- (1) 先將探針與主機連線再開啟電源，否則會當機。
- (2) 設定量測單位，在此設為 T(Tesla)。
- (3) 設定磁通密度可量測範圍，若設定太小則無法量得，設定太大則量得之磁通密度較不精確。
- (4) 若為測量氣隙磁通密度之最大值時，可使用自動擷取最大值模式以方便量測。此模式下主機螢幕只會顯示從開始量測到測量結束之間最大的磁通密度值。
- (5) 每次量測前需做歸零之校正工作。作法為將探針放入零磁場之歸零器之中，並按下歸零按鈕，經過一段時間便完成歸零動作。
- (6) 量測時需注意周圍是否有磁性物質，並且不可將激震器放置於相對導磁係數高之物體上。
- (7) 另外在量測氣隙處不同高度之磁通密度時，需先取消自動擷取最大值模式，並藉由厚度 1mm 之墊片以輔助高度的定位。量測前先將探針固定於一穩定物體上，其高度在針尖恰巧接觸到激震器上表面處。其架設情形如圖 4.6 所示。
  - A. 量測氣隙磁區上方之磁通密度時，便可逐步將墊片放置於固定探針之物體底部，如此便可量測出氣隙上方各高度位置之磁通密度分佈情形。
  - B. 量測氣隙磁區及其下方之磁通密度時，則將墊片放置於激震器底部以測量氣隙磁區與下方各點之磁通密度。

## 4-3 實驗值與分析模擬值比較

表 4-1 為實做之橢圓形尺寸，第一組材料參數如表 4-2a 所示，二、三、

四組材料參數則如表 4-2b 所示。表 4-3 為其長、短軸氣隙處及最大磁通密度氣隙處量測值與模擬分析值之比較。其中每組實驗值為五次量測之平均值。由表可見分析與實驗之數值相近。表 4-4 則為圓形激震器之尺寸及材料參數，其氣隙磁通密度實驗值與二維及三維模型分析值之比較，可由表 4-5 觀察得亦是相近。

圖 4.7 及圖 4.8 分別為橢圓形激震器長、短軸處磁通密度在高度方向之分佈情形。由於探針頭為一單位平方公釐之區域面積，因此將量測位置定為此單位面積之中心處。由圖可見，測得之磁通密度分佈曲線與 ANSYS 模型分析所得之磁通密度分佈曲線相合。圖 4.9 則為圓形激震器磁通密度高度方向分佈趨勢。同樣的其實驗值與分析曲線相近。

由以上之比較可知，我們的分析模型是具有可信度的。唯分析值皆略高於實驗值。其中分析部分因為設定環境較理想無周遭環境干擾，因此磁力線的流通也較為順暢。而實驗上的誤差包括導磁體、磁體及組裝。

- (1) 導磁體為鐵工廠的鐵材經由 CNC 加工製成，因此加工表面精細度與尺寸誤差皆會影響氣隙磁通密度。
- (2) 在磁體部分由於表面鍍有防鏽鍍膜，亦可能影響磁力之傳導。
- (3) 組裝時膠層太厚、定位偏差及磁體與導磁體磨損皆可能使組裝出之激震器不如預期。

## 第五章 提升磁通密度之改良比較

由於傳統長條形揚聲器仍然使用圓形激震器為其動力來源，因此激震器最大直徑受到揚聲器寬度限制，推力同時受限。為了增加此類揚聲器的聲壓感度，便可以橢圓形的方式將剩餘空間做一個更有效的利用並同時達到增加推力的效果。

### 5-1 激震器各尺寸對氣隙磁通密度的影響

由變化磁體高度的比較圖 5.1 可見，由於磁體本身屬不良導磁性及其磁力方向為軸向的關係，無論何種尺寸的磁體在高度大於 10mm 時對氣隙磁通密度之影響已經不大，因此磁體高度將是一個激震器的重要參考尺寸。

圖 5.2 為在磁體高度 4mm 時氣隙寬度對磁通密度的影響，其橫座標為氣隙寬度與磁體高度之比值，而縱座標則為氣隙磁通密度平均值。由圖可知，氣隙越小磁通密度越大，這也符合了磁力與距離平方成反比的理論。但為了讓音圈在振動過程不會產生摩擦情形，因此氣隙寬度往往受限於音圈壁厚。

圖 5.3 為在磁體高度 4mm 時上導磁片厚度對氣隙磁通密度的影響，橫座標為上導磁片厚度與磁體高度之比值，而縱座標為氣隙磁通密度平均值。由圖可見，上導磁片厚度越薄磁通密度越大，這是由於磁通能流通的導磁空間較小，在空間受擠壓的情形下密度自然較高。當上導磁片厚度逐漸增加時，磁通密度的減少情形逐漸減緩，這是由於上導磁片厚度增厚的同時由上導磁片上表面散漏之磁通量減少了，因此上導磁片厚度較厚的情形下氣隙磁區的磁通總量反而較多。在與揚聲器的搭配上，上導磁片厚度也牽涉到音圈導線的捲幅高度、揚聲器的振幅，因此上導磁片厚度的決定需要考慮到與揚聲器整體的結合。

圖 5.4 為在磁體高度 4mm 時下導磁片厚度對氣隙磁通密度的影響，橫座標為下導磁片厚度與磁體高度之比值，而縱座標為氣隙磁通密度平均值。由圖可見，下導磁片厚度對磁通密度的影響微乎其微，這是因為激震器主要漏磁區為氣隙處，在磁路完整通順的激震器底部漏磁情形極少，因此下導磁片厚度對氣隙磁通密度的影響也不大。

圖 5.5 為在磁體高度 4mm 時導磁壁厚度對磁通密度的影響，橫座標為導磁壁厚度與磁體高度之比值，而縱座標為氣隙磁通密度平均值。圖中之關係曲線顯示，導磁壁厚度對磁通密度影響不大。厚度越薄時靠近氣隙區之導磁壁面積越小，因此受影響而漏磁之情形也越小。

## 5-2 橢圓形激震器磁通密度之提升

圖 3.8 是一個橢圓形內磁式激震器四分之一模型。其中影響氣隙磁通密度的因素為磁體相對導磁係數、磁體矯頑磁力( $H_c$ )、導磁體相對導磁係數、磁體半長軸( $L_{in}$ )、磁體半短軸( $S_{in}$ )、氣隙間距(Gap)、上方導磁體厚度( $H_{up}$ )、磁體厚度( $H_{mag}$ )、外U形鐵厚度( $L_{out}$ 、 $S_{out}$ 、 $H_{bottom}$ )。為了與傳統圓形激震器做一個比較，因此我們固定部分尺寸參數 $L_{out}$ 、 $S_{out}$ 、 $S_{in}$ 、 $H_{up}$ 、 $H_{mag}$ 、 $H_{bottom}$ 、GAP。材料常數則如表 4-2b所示。唯一改變的是磁體半長軸( $L_{in}$ )來觀察磁通密度之增益情形。

圖 5.6 為橢圓形激震器在不同長短軸比的情形下對磁通密度的影響。其中圖 5.6a 橫座標為磁體長軸與短軸之比值，縱座標為氣隙磁通密度平均值。由圖可知，長短軸比為 1(圓形激震器)時，氣隙磁通密度最小。而長短軸比越大時總磁體體積隨之增加，氣隙磁通密度也越來越大，但在長短軸比大於 3 後成長趨緩。長軸處之磁通密度也在長短軸比大於 3 之後逐漸減

弱。這是因為當長短軸比越來越大時，橢圓形越拉越長，橢圓中心磁體對長軸氣隙處之影響也越來越小。另外由於橢圓形長軸處因長軸越長而曲率越大，造成長軸處形狀較尖銳，對長軸處之磁通密度也帶來負面的影響。圖 5.6b 橫座標為氣隙路徑上與出發點之距離，縱座標為氣隙磁通密度平均值。其中可見同樣在長短軸比大於 3 後磁通密度分佈的差異越來越大。因此在選擇橢圓形激震器時以長短軸比值約等於 3 時較佳。圖 5.6c 為橢圓形激震器氣隙路徑示意圖。

圖 5.7 是一個圓音圈橢圓形外磁式激震器模型。而其影響氣隙磁通密度的因素為磁體相對導磁係數、磁體矯頑磁力( $H_c$ )、導磁體相對導磁係數、磁體體積( $A_{out}$ )&( $H_{mag}$ )、氣隙間距(Gap)、內導磁柱半徑( $R_{in}$ )、上方導磁體厚度( $H_{up}$ )、下方導磁體橢圓盤厚度( $H_{bottom}$ )。為了與傳統圓形激震器做一個比較，因此我們固定部分尺寸參數  $S_{out}$ 、 $S_{total}$ 、 $H_{up}$ 、 $H_{mag}$ 、 $H_{bottom}$ 、GAP。材料常數如表 4-2a 所示。而變化的因素則為內導磁柱半徑( $R_{in}$ )與磁體半長軸( $L_{total}$ )。

圖 5.8 及圖 5.9 分別是改變外橢圓及內圓柱尺寸對氣隙磁區平均磁通密度之影響。由曲線可知，當磁體體積變大時對於氣隙所造成的氣隙磁通密度也越大，激震器推力也將隨之上升。而以磁體體積來觀看此二曲線如圖 5.10 可知，相同磁體體積的情況下橢圓磁體尺寸越小(亦即磁體與氣隙距離較近)，則磁力越能集中至氣隙處，氣隙磁通密度也就越大。但此種型態將造成音圈太小容易使出力無法均勻的分佈至振動板上。也將使得音圈線圈的密度在氣隙磁區中必須更為提高，才能使推力同時提升。

### 5-3 不同型態設計對磁通密度之提升

在固定激震器大部分尺寸的情形下，為了達到提升氣隙磁通密度的目的，這時候便有幾種變化型態之設計。

### 5-3-1 圓形激震器之改良

由於圓形激震器可以二維模型分析，對於外型修改之便利性及分析速度之快速性極有幫助。因此，在此需要大量變化外型的分析比較中，選用圓形激震器來做各種型態對磁通密度影響之研究。

#### 5-3-1-1 固定不變之條件

圖 3.4 為一圓形激震器模型。在分析比較前，限制不可變動之條件參數為氣隙寬度(GAP)、激震器總高度( $H_{total}$ )、激震器總半徑( $R_{total}$ )、外U形鐵厚度( $t$ )、氣隙磁通區高度( $H_{up}$ )、材料參數如表 4-2b(其中反磁材料與磁體材料參數相同，唯矯頑磁力需異號)。

#### 5-3-1-2 分析模型之驗證

在改變激震器外型設計後，為了得知模型是否會因此不合用，所以在基本圓形激震器模型上再加一反磁薄片區(圖 5.11)予以驗證。

圖 3.4 為一基本圓形激震器模型，其相關尺寸及氣隙平均磁通密度如表 5-1 所示。而圖 5.11 之尺寸除了反磁薄片厚度為 1mm 之外，其餘尺寸與基本圓形激震器模型相同。首先我們將反磁薄片之相對導磁係數由 1.05 改為與空氣相同 1，其氣隙磁通密度平均值由 1.024619 略微提升至 1.024864。由於原本由上導磁片散出之磁力線，會因反磁薄片之導磁能力下降而使得小部分磁力轉往氣隙磁區處流出。接著將反磁薄片之矯頑磁力逐漸減弱，其收斂趨勢曲線如圖 5.12 所示。反磁力逐漸減小時，由上導磁片散出之磁力線逐漸增加，因此平均氣隙磁通密度也隨著逐漸下降。當反磁薄片區之材料參數與空氣相同時(相對導磁係數為 1，矯頑磁力為 0)，其平均氣隙磁通密度為 0.921786 與無反磁薄片區之情形相同。

另外，實際量測一具有反磁片之圓形激震器及其去掉反磁片後之氣隙磁通密度值。其外型之示意圖如圖 5.13，而材料參數及尺寸如表 5-2 所示。由表 5-3 的比較中，也顯示了實驗與分析之磁通密度值相近。

### 5-3-1-3 各型態對磁通密度影響之比較與討論

圖 5.14 到圖 5.20 為各種型態之磁力線分佈圖與氣隙磁通密度在導磁區間之厚度方向分佈曲線及其對應之氣隙磁通密度平均值。

由圖 5.14 與圖 5.15 之比較我們可以發現：在圖 5.14 的傳統型態中，其上導磁片內靠近圓心處之磁力線較鬆散，因此在圖 5.15 將部分改以磁體之改良型態中可見，由於磁體體積增加了，雖然因為上導磁片厚度變薄使得散出之磁力線增加，但在氣隙處之磁通密度仍因為總磁量增加而隨之上升。另外，雖然上導磁片厚度為 4mm 的部分只有 1mm 寬，但在氣隙處之磁力線並無因此而有紊亂或不均勻的情形發生。

圖 5.16 之情形與圖 5.15 相似，因為總磁能增加而對氣隙磁通有所幫助，但它所帶來的另一個優點為在組裝時，由於上下導磁體皆有凹槽與磁體結合，因此組裝時完全不需要使用膠水黏合及置具定位，可以減少組裝造成的誤差與所需耗費的時間。

圖 5.17 到圖 5.20 皆為於上導磁體上再加一片與原本磁體出力方向相反之磁體。由於氣隙處為磁路之缺口，由此處散逸至空氣中的磁力最多。因此若能減少磁力散漏情形對磁通密度的提升必定有所幫助。由圖 5.17、圖 5.18、圖 5.19 之比較中我們可以發現，反磁體之厚度影響小於反磁體與氣隙之距離。這也間接符合了磁場強度與距離平方成反比與磁體磁量成正比

的理論。而由圖 5.17 與圖 5.20 的比較中，我們也可以看到雖然反磁體與氣隙之間的距離影響較大，但厚度的影響也並非相對小到可以忽略。再者如果單純以圖 5.17 之型態增加反磁體厚度的話，必然使得原本磁體高度受到壓縮，音圈在此激震器中的允許最大振幅也將隨之減小。

### 5-3-2 橢圓形激震器之相似改良

為了觀察橢圓形激震器是否與圓形激震器有相似的改良特性，因此選用與圖 5.15 及圖 5.17 相似之改良模型來做其對磁通密度影響之研究。

#### 5-3-1-1 固定不變之條件

圖 3.8 為一橢圓形激震器之模型。在分析比較前，限制不可變動之條件參數為長、短軸處氣隙寬度(GAP)、激震器總高度( $H_{total}$ )、激震器總半長軸( $L_{total}$ )、激震器總半短軸( $S_{total}$ )、外U形鐵厚度( $L_{out}$ 、 $S_{out}$ )、氣隙磁通區高度( $H_{up}$ )、材料參數如表 4-2b(其中反磁材料與磁體材料參數相同，唯矯頑磁力需異號)。

#### 5-3-1-2 分析模型之驗證

在改變激震器外型設計後，為了得知模型是否會因此不合用，所以同樣在基本橢圓形激震器模型上再加一反磁薄片區(圖 5.21)加以驗證。

圖 3.8 為一基本橢圓形激震器之模型，其相關尺寸見表 4-1 第二組，而氣隙磁通密度之分佈則如圖 5.23b、5.24b 所示。圖 5.21 之尺寸除了反磁薄片厚度為 2mm 之外，其餘尺寸與基本橢圓形激震器模型相同。首先我們將反磁薄片之相對導磁係數由 1.05 改為與空氣相同 1，其各部位之氣隙磁通密度曲線略微提升。相似於圓形激震器由於原本上導磁片散出之磁力線，因反磁薄片之導磁能力下降而使得小部分磁力轉往氣隙磁區處流出。接著

將反磁薄片之矯頑磁力逐漸減弱，其收斂趨勢曲線如圖 5.22 所示。圖 5.22 之橫座標為出發點為長軸氣隙磁區中點處，沿橢圓周弧線延伸至終點為短軸氣隙磁區中點處，其路徑如圖 5.6c 示意圖。圖 5.22 之縱座標則為氣隙磁區中間高度處之磁通密度值。反磁力逐漸減小時，由上導磁片散出之磁力線也逐漸增加，因此平均氣隙磁通密度也逐漸下降。當反磁薄片區之材料參數與空氣相同時(相對導磁係數為 1，矯頑磁力為 0)，其各氣隙磁通密度曲線與無反磁薄片區之情形相近。

### 5-3-1-3 各型態對磁通密度影響之比較與討論

圖 5.23 為與圖 5.15 同樣的改良方式，由其各部位之磁通密度值可見，相似於圓形激震器，其氣隙磁通密度因為總磁量的增加而有所提升。

圖 5.24 則為具有反磁區之模型，相似於圖 5.17 的改良方式，其對於磁通密度改良有大幅提升的效力。



### 5-3-3 反磁片尺寸對激震器的影響

圖 5.25 為反磁片厚度 1mm 之反磁片半徑與氣隙磁通密度之關係，其橫座標為反磁體與磁體半徑之比值，縱座標為氣隙磁通密度。由趨勢可知，當反磁片越接近漏磁氣隙區域影響越大且磁通密度成倍數增加，而反磁片半徑小於磁體半徑的 0.3 倍時對氣隙磁通密度幾乎沒有影響。這符合了磁力與距離平方成反比的理論。


圖 5.26 則為相同反磁片半徑(14.8mm)下，反磁片高度對氣隙磁通密度的影響，其橫座標為反磁體與磁體高度之比值，縱座標為氣隙磁通密度。由趨勢可見，反磁體越大對氣隙磁通密度越有幫助，但過度增高的反磁體效率將越來越差且連帶影響到揚聲器的整體高度。

## 第六章 激震器對揚聲器聲壓之影響

高感度的聲壓為一個好的揚聲器所追求的目標，現在將激震器、平面振動板、懸邊及音圈組合成一個揚聲器進而探討激震器對揚聲器的相關影響。由於揚聲器在第一個共振頻率  $F_s$  的運動相當於有阻尼的單一自由度剛體振動，因此以下將依此基礎，討論揚聲器在  $F_s$  的聲壓與衝程大小。

### 6-1 單一自由度振動響應

揚聲器系統之運動可以簡化為受週期性外力激振的單一自由度剛體振動，如圖 6.1 所示。其中  $M$ (Mass)為整個揚聲器系統移動的質量，包含音圈、振動板、懸邊及彈波。 $K$ (Stiffness)是整個系統的勁度，由懸邊與彈波所造成的。 $C$ (Damping)是整個系統的阻尼。整個系統的運動方程式如下：


$$M \frac{d^2x}{dt^2} + C \frac{dx}{dt} + Kx = F_0 \sin wt = BLI \sin wt \quad (6.1)$$

可以得到公式解如下：

$$X(w) = \frac{BLI}{\sqrt{(K - Mw^2)^2 + (Cw)^2}} \quad (6.2)$$

其中

$$W_n = \sqrt{\frac{K}{M}}, \quad C_c = 2MW_n, \quad \xi = \frac{C}{C_c} \quad (6.3)$$

$$\frac{Cw}{K} = \frac{C}{C_c} \frac{Ccw}{K} = 2\xi \frac{w}{W_n} \quad (6.4)$$

將關係式(6.3)與(6.4)代入(6.2)可得到另一形式的公式解：

$$X(w) = \frac{\frac{BLI}{K}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{w}{Wn}\right)^2\right]^2 + \left[2\xi\left(\frac{w}{Wn}\right)\right]^2}} \quad (6.5)$$

其中  $Wn$  為自然頻率(角頻率)， $Cc$  為臨界阻尼， $\xi$  為阻尼比。

## 6-2 單一自由度聲壓公式

對於點聲源而言，3D 波動方程式在球面座標如式(6.6)：

$$\frac{\partial^2 P}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 P}{\partial \theta^2} + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 P}{\partial \phi^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial P}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \tan \theta} \frac{\partial P}{\partial \theta} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad (6.6)$$

其中  $P$  為聲音壓力， $r$  為點聲源與量測點的距離， $c$  為聲速。因為點聲源是完全對稱的聲源，其聲場不會有方向性，所以式(6.6)可以簡化如下：

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 P}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial P}{\partial r} &= \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \\ \Rightarrow \frac{1}{r} \frac{\partial^2 (rP)}{\partial r^2} &= \frac{1}{r} \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 (rP)}{\partial t^2} \\ \Rightarrow \frac{\partial^2 (rP)}{\partial r^2} &= \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 (rP)}{\partial t^2} \end{aligned} \quad (6.7)$$

式(6.7)之解為：

$$\begin{aligned} rP &= f_1(r-ct) + f_2(r+ct) \\ \Rightarrow P(r,t) &= \frac{1}{r} f_1(r-ct) + \frac{1}{r} f_2(r+ct) \end{aligned} \quad (6.8)$$

其中  $f_1$  和  $f_2$  為任意函數。因為一個點聲源只會發出外傳波(outgoing wave)，所以式(6.8)可以簡化如下：

$$P(r,t) = \frac{1}{r} f_1(r-ct) \quad (6.9)$$

對於簡諧球面波而言式(6.9)變為式(6.10)的形式：

$$P(r, t) = \frac{\bar{A}}{r} e^{j(\omega t - kr)} \quad (6.10)$$

其中  $\bar{A}$  為未定複數， $\omega$  為角頻率， $k$  為波數。對於微小的振動板  $\delta s$  而言，距離振動板  $r$  的聲場可由 Rayleigh's first Integral 計算得到：

$$P(r, t) = \left( \frac{j\omega \rho_{air} \mu_d \delta s}{2\pi r} \right) e^{j(\omega t - kr)} \quad (6.11)$$

其中  $\mu_d$  為振動板表面元素之速度大小。因此對一塊振動板而言，其聲場為：

$$P(r, t) = \frac{j\omega \rho_{air}}{2\pi} e^{j\omega t} \int_s \frac{\mu_d(r, t) e^{-jkr}}{r} ds \quad (6.12)$$

假設振動板表面元素之振幅大小為：

$$A_d(r_i, t) = A e^{j(\omega t - kr_i)} \quad (6.13)$$

則振動板表面元素之速度大小為：

$$\mu_d(r_i, t) = j\omega A e^{j(\omega t - kr_i)} = j\omega A_d(r, t) \quad (6.14)$$

代入聲場方程式：

$$\begin{aligned} P(r, t) &= \frac{-\omega^2 \rho_{air}}{2\pi} e^{j\omega t} \int_s \frac{A_d(r_i, t) e^{-jkr_i}}{r} ds \\ &= \frac{-\omega^2 \rho_{air}}{2\pi} \sum_i A_d(r_i, t) \times e^{j(\omega t - kr_i)} \frac{\Delta s}{r_i} \end{aligned} \quad (6.15)$$

代換  $\omega t$  為相角  $\theta_i = \omega t = \tan^{-1} \frac{c_i \omega}{k_i - m_i \omega^2}$

$$\begin{aligned} P(r, t) &= \frac{-\omega^2 \rho_{air}}{2\pi} \sum_i A e^{j(\theta_i - kr_i)} e^{j(\theta_i - kr_i)} \frac{\Delta s}{r_i} \\ &= \frac{-\omega^2 \rho_{air}}{2\pi} \sum_i A e^{j(2\theta_i - 2kr_i)} \frac{\Delta s}{r_i} \end{aligned} \quad (6.16)$$

而聲壓  $SPL$ (Sound Pressure Level)之定義為，

$$SPL = 20 \log \left( \frac{|P_{rms}|}{P_{ref}} \right) \quad (6.17)$$

其中  $P_{rms}$  為量測點聲壓之均方根值， $P_{ref}=2 \times 10^{-5}$  pascal， $SPL$  單位則為 dB。

假設振動板為剛體且相較於量測距離震動板很小，則相角  $\theta$  與量測距離  $r$  不會改變。將 6-1 節得到位移量  $X(w)$  視為振動板的振幅，可得到單一自由度聲音壓力的均方根值如下：

$$\begin{aligned} P_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} P^2(r, t) dt} \\ &= \frac{w^2 \rho_{air} A \Delta s}{2\pi r} \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} e^{j(4\theta_i - 4kr_i)} dt} \\ &= \frac{w^2 \rho_{air} A \Delta s}{2\sqrt{2}\pi r} \quad (6.18) \\ &= \frac{w^2 \rho_{air} \Delta s}{2\sqrt{2}\pi r} \times \frac{\frac{BLI}{K}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{w}{W_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\xi \left(\frac{w}{W_n}\right)\right]^2}} \end{aligned}$$

其中  $A$  為振動板振幅， $\Delta s$  為振動板的面積， $r$  為量測點的距離。

### 6-3 實測揚聲器聲壓

為了討論一維自由度聲壓公式之適用性，以下將實際量測一揚聲器之聲壓曲線並與公式計算聲壓比較。

- (1) 以量測儀器 B&K 及 LMS 實際量測一揚聲器之聲壓。依照標準規定，聲壓之量測點位置為揚聲器正前方一公尺處，而量測電壓則為以揚聲器標稱阻抗(此約為  $8\Omega$ )計算 1watt 時之

電壓(約 2.828V)。

- (2) 以 MLSSA 量測此揚聲器之頻率阻抗曲線(圖 6.2)及相關參數如表 6-1。
- (3) 將表 6-1 中各參數帶入聲壓公式計算與量測值比較(圖 6.3)，而其在 1000Hz 之聲壓則如表 6-2 所示。

由圖 6.3 可見，由於單一自由度並不考慮板變形，因此在某些區間之聲壓理論與量測值稍有差異。但整體而言，其聲壓趨勢與聲壓大小均能相合。另由 1000Hz 之聲壓值亦可說明，以單一自由度推算之聲壓已能表現此揚聲器之基本特性。

#### 6-4 激震器對揚聲器的影響

在揚聲器的量測中，以輸入功率 1watt 量測距離 1m 為共同量測標準。在此相同量測條件下假若揚聲器能推動之聲壓越高，則其感度越好。由於在輸入功率相同的情形下若能推動出較大之聲壓，表示當輸入訊號不大時亦能推動出人耳可感覺到之聲壓，可以將樂音之強弱明顯的表現出來。

由式(6.18)可知，聲壓與振動板之振幅為正比關係。另由式(6.5)亦可見，激震器對振幅之直接影響為氣隙磁通密度  $B$ 。因此，在其他周邊相同的條件下，激震器的氣隙磁通密度越強則揚聲器的聲壓感度也越好。另外，相對於不同音圈與激震器，受氣隙磁區影響之漆包線長  $L$  亦將隨激震器之尺寸而有所變化。

##### 6-4-1 音圈與激震器之搭配

圖 6.4 為基本音圈之幾何模型剖面示意圖。以相同內徑與直流阻抗之音圈而言，線徑越細則總線長越短、捲幅也越矮。考慮相同的激震器與不同捲幅高度的音圈組合時，可分為如圖 6.5 三類情形：

- (1) 捲幅高度小於氣隙磁區高度：在此種情形下由於線徑較細，單位捲幅高度所含之漆包線較長。但因線圈全在氣隙磁區裡，因此為了增加此類組合之允許振幅，就必須增加氣隙磁區的高度，但此同時會造成磁通密度之下降。此種組合為高漆包線密度與低磁通密度之搭配，適合高頻振動振幅較小之情形。
- (2) 捲幅高度大於氣隙磁區高度：此種組合則因線徑較粗，單位捲幅高度所含之漆包線較短，因此其有效線圈長度  $L$  也不大。為了使推力與允許振幅提升，適當縮減氣隙磁區高度皆有正面助益，但如此也將使有效線圈長度  $L$  更為減少。此種組合之優點為其所允許之振幅較其他二者為大。
- (3) 捲幅高度與氣隙磁區高度相等：此為上述兩種之中庸型態。其優點為在揚聲器振動過程中，磁通與線圈長幾乎完全利用。而其缺點則為在振動過程中，磁通密度與有效線圈長度之間的交互作用是一直有明顯變化的。如此將較無法將輸入訊號忠實的表現出來，也就是較容易造成因推力變動的失真。

#### 6-4-2 考慮聲壓選擇激震器

在考慮激震器的選用中，以組合出好的揚聲器聲壓為最重要目標。為方便計算，本研究採用單一自由度運動模型來討論。

- (1) 先設定搭配之振動板面積  $\Delta s$ 、懸邊勁度  $K$ 、激震器推動之系統質量  $m$  與音圈中線圈之直流阻抗  $R$ 。其中  $K$  與  $m$  將決定此激震器的第一個自然頻率  $\omega_n$ 。
- (2) 假設系統組泥比為 10%，訂立出此揚聲器在量測距離  $r$  為

1m 之目標聲壓  $SPL$ 。由於在各頻率下之電路阻抗並非定值，因此在本研究以非自然頻率且一般較常量測比較之 1000Hz 為其目標聲壓頻率。因為 1000Hz 不是自然頻率，所以此頻率之電路阻抗約為其直流阻抗。

- (3) 將以上各參數代入式(6.18)估算出此揚聲器所需之目標磁通密度  $B$  與有效線圈長度  $L$  之乘積。並以此  $B$  與  $L$  之乘積求出式(6.5)所需之振幅  $X$ 。
- (4) 以振動板面積決定音圈及激震器直徑，以此直徑及激震器允許高度初步估設激震器氣隙磁通密度  $B$  的範圍。根據目標  $BL$  乘積與範圍  $B$  依音圈內徑及預定搭配方式和目標聲壓的振幅定出音圈  $L$  與激震器氣隙磁區尺寸。
- (5) 以 ANSYS 分析軟體模擬出激震器可提供之磁通密度  $B$ ，並將音圈之質量加入之前估算的系統質量中找出此種組合的真實質量  $m$ 。將所有決定好的參數帶回式(6.18)中判斷是否大於當初的目標聲壓。若無法達成當初的期望，便以目前搭配出的真實質量再次估算出目標磁通密度  $B$  與有效線圈長度  $L$  之乘積，並重複步驟(3)到步驟(5)直到找出符合期望的組合為止。其流程如圖 6.6 所示。

在上述以聲壓為考量選擇激震器所需要考慮的因數中，可以簡單分為兩類。其中阻尼  $\xi$ 、空氣密度  $\rho_{air}$ 、振動板面積  $\Delta s$ 、系統剛性  $K$ 、量測距離  $r$ 、揚聲器直流阻抗  $R$  為不直接影響激震器之因數，可以優先決定而不受搭配過程影響。而磁通密度  $B$ 、有效線圈長度  $L$  及系統質量  $m$  則為互相有直接影響的參數，在搭配過程中需反覆驗證其合理性。在搭配過程中，由於加入音圈質量後第一自然頻率  $W_n$  會變小，因此盡量選用高於  $W_n$  之頻率來計算目標聲壓；且由於加入音圈後系

統質量增加，為免最後推力不足推動較大之新質量， $B$ 值在粗估時需估略小，如此較容易得到符合目標聲壓之組合。

由以上之討論可見，不論激震器與音圈搭配是何種型態，當以聲壓考慮為出發，最後在討論激震器是否推力足夠符合要求時，都關係到其在固定氣隙磁區高度及相關尺寸下，氣隙磁通密度是否夠大。因此在固定相關尺寸下氣隙磁通密度的強弱及均勻性，將是決定激震器好壞的重要指標。這也說明了在前一章激震器改良型態設計上，限制相關尺寸的目的。



## 第七章 結論與未來研究方向

### 7-1 結論

橢圓形激震器在磁通密度的分佈上確實有比圓形激震器還要大的優勢。但橢圓形激震器需要注意其長短軸比值不宜超過 3，否則將使磁通密度分佈均勻性下降而使推力不均勻造成振動板及音圈容易扭曲變形，另外整體磁通密度的提升也會在此時漸趨平緩。因此以長短軸比為 2~3 之間為最佳之橢圓形激震器尺寸。

在改良型態中，蓋子型激震器比一般激震器更能同時顧及氣隙磁區高度與磁通密度值。由於當選用激震器時若需以足夠高度的氣隙磁區來增加允許振幅或增加推動效率，同時又不希望磁通密度太小時，蓋子型激震器便是一種值得考慮的型態。

反磁體對增加磁通密度有極佳的幫助，但當反磁體高度太大時會壓縮到振動系統的振動空間。而瓶塞型反磁體則有折衷之功用。由於瓶塞型凸出激震器之高度不多，但其反磁體積相較於凸出高度相同的單純反磁片型來說為多，因此其反磁能力也較單純反磁片型為好。反過來說，當這兩種型態的激震器反磁效力相同時，單純反磁片型必然總高度較高或允許振幅較小，因此瓶塞型反磁體有較佳的適用場合。

激震器雖然是單純的揚聲器動力來源，但因與其交互作用的音圈將連帶影響到振動系統質量，因此在設計激震器時，仍須考慮到與聲壓相關的各項因數之全盤考量。

在激震器氣隙磁通密度的改良上，必須建立在與相同音圈的搭配。否

則，若使音圈的有效感應線長減少或使允許振幅下降，都將使得揚聲器的聲壓感度下降。如此就有違提升氣隙磁通密度的本意了。也就是說在搭配相同的振動板、懸邊等周邊，而氣隙磁區高度、氣隙寬度、搭配音圈皆相同的條件下，當氣隙磁通密度較高時，則可以用較低的能量去推動出相同的振幅與聲壓，此揚聲器也較不易發生因推力不足而使聲壓不足的失真情形。

## 7-2 未來研究方向

1. 將橢圓形及改良型態之激震器與揚聲器其他周邊搭配後，實際量測其聲壓並作進一步的探討。
2. 尋找更好的激震器改良設計，並將之應用在橢圓形激震器的改良。
3. 考量激震器帶來的失真影響，並以減少失真為出發點改善揚聲器的聲壓感度。
4. 同時考量所有影響氣隙磁通密度的因數，找出更完整的關係曲線及歸納出通用的經驗公式。
5. 嘗試分析探討不同外形的激震器(如操場中間為矩形而兩側為半圓形)尋找其相較於橢圓形之優缺點。

## 參考文獻

1. B. John , “Loudspeaker and Headphone Handbook”, Second edition, Reed Educational and Professional Publishing Ltd. , Great Britain, 1994, pp.28-105
2. A. G. BELL, US Patent No. 174465 ,1876.
3. N. BALDWIN, US Patent No. 905781 ,1908.
4. E. W. SIEMENS, US Patent No 149797 ,1874.
5. C. W. Rice, and E. W. Kellogg, “Notes on the Development of a New Type of Hornless Loud Speaker”, JAIEE, V.12, 1925, pp.461-480.
6. D. G. Meyer, “Computer Simulation of Loudspeaker Directivity”, JAES, Vol.32, No.5 ,1984, pp294-315.
7. E. Hojan, M. Wojtczak, M. Niewiarowicz, “Computer Simulation of Spatial Characteristics of a Loudspeaker System”, Applied Acoustics, Vol.32 ,1991, pp179-191.
8. J. M. Eargle, “Loudspeaker Handbook” ,CHAPMAN&HALL , 1997.
9. L. D. John, ” Lenk’ s audio handbook” , McGraw-Hill Inc. ,New York ,1991.
10. M. T. Smith, “Audio engineer’ s reference book” ,Focal Press ,Boston ,1999.
11. A. Bossavit, “Computational Electromagnetism” , Academic Press Ltd., New York ,1998.
12. W. H. Hayt, Jr. J. A. Buck, “Engineering Electromagnetics” ,Sixth edition, Mc Graw Hill ,2000.
13. 許財維, “微型喇叭之研製 The Design and Fabrication of a Small Size Loudspeaker” , 國立交通大學機械工程研究所碩士論文 ,2001.

14. 林坤森, “電磁動力式激震器之設計與應用 The Design and Application of Electrodynamic Actuator”, 國立交通大學機械工程研究所碩士論文, 2002.



表 3-1 二維收斂模型尺寸表

	尺寸(mm)
GAP	1
$R_{in}$	12
$R_{out}$	15
t	2
$H_{up}$	2
$H_{mag}$	10
$H_{bottom}$	2

表 3-2 材料常數

材料性質 \ 材料種類	空氣	磁體	導磁體
isotropic			
Relative Permeability ( $\mu_r$ )	1	1.05	6000
Anisotropic			
Coercive Force ( $H_c$ ) A/m	0	$7.4 \times 10^5$	0

表 3-3 三維收斂模型尺寸表

	尺寸(mm)
$L_{in}$	20
$S_{in}$	12
$L_{out}$	2
$S_{out}$	2
$L_{total}$	23
$S_{total}$	15
$H_{up}$	2
$H_{mag}$	10
$H_{bottom}$	2

表 4-1 橢圓形激震器實做尺寸

尺寸(mm)	第一組	第二組	第三組	第四組
$L_{in}$	20	19.5	19	26
$S_{in}$	12	11.5	11	11
$L_{out}$	2	2	2	3
$S_{out}$	2	2	2	3
$L_{total}$	23	23.5	24	32
$S_{total}$	15	15.5	16	17
$H_{up}$	2	2	2	2
$H_{mag}$	10	10	10	10
$H_{bottom}$	2	2	2	3

表 4-2a 第一組橢圓形激震器實做材料參數

材料性質 \ 材料種類	空氣	磁體	導磁體
isotropic			
Relative Permeability ( $\mu_r$ )	1	1.05	6000
Anisotropic			
Coercive Force ( $H_c$ ) A/m	0	$5.2 \times 10^5$	0

表 4-2b 二、三、四組橢圓形激震器實做材料參數

材料性質 \ 材料種類	空氣	磁體	導磁體
isotropic			
Relative Permeability ( $\mu_r$ )	1	1.05	6000
Anisotropic			
Coercive Force ( $H_c$ ) A/m	0	$8.76 \times 10^5$	0

表 4-3a 第一組橢圓形激震器實際量測值(Tesla)

第一組	第一次 量測值	第二次 量測值	第三次 量測值	平均值	理論分 析值
長軸處氣隙	0.891	0.858	0.888	0.879	0.9393
短軸處氣隙	0.936	0.894	0.935	0.921	0.9505
最大磁通氣隙	0.998	0.95	0.936	0.961	0.9746

表 4-3b 第二組橢圓形激震器實際量測值(Tesla)

第二組	第一次 量測值	第二次 量測值	第三次 量測值	平均值	理論分 析值
長軸處氣隙	0.901	0.913	0.906	0.907	1.0251
短軸處氣隙	0.926	0.946	0.937	0.936	1.0429
最大磁通氣隙	0.975	0.984	0.968	0.976	1.0715

表 4-3c 第三組橢圓形激震器實際量測值(Tesla)

第三組	第一次 量測值	第二次 量測值	第三次 量測值	平均值	理論分 析值
長軸處氣隙	0.706	0.704	0.713	0.708	0.7359
短軸處氣隙	0.729	0.734	0.724	0.729	0.7583
最大磁通氣隙	0.766	0.754	0.748	0.756	0.7786

表 4-3d 第四組橢圓形激震器實際量測值(Tesla)

第四組	第一次 量測值	第二次 量測值	第三次 量測值	平均值	理論分 析值
長軸處氣隙	0.975	0.987	0.962	0.975	1.026
短軸處氣隙	1.011	1.031	1.025	1.022	1.0578
最大磁通氣隙	1.082	1.079	1.063	1.075	1.1379

表 4-4a 圓形激震器實做尺寸

	尺寸(mm)
GAP	1
R <sub>in</sub>	12.5
R <sub>out</sub>	16.5
t	3
H <sub>up</sub>	3
H <sub>mag</sub>	4
H <sub>bottom</sub>	3

表 4-4b 圓形激震器實做材料參數

材料性質 \ 材料種類	空氣	磁體	導磁體
isotropic			
Relative Permeability ( $\mu_r$ )	1	1.05	6000
Anisotropic			
Coercive Force ( $H_c$ ) A/m	0	$9.63 \times 10^5$	0

表 4-5 圓形激震器分析與量測值比較(Tesla)

	二維分析值	三維分析值	實驗量測值(三次平均)
氣隙磁通密度	1.141	1.167	1.128

表 5-1 驗證用基本尺寸及磁通密度

	尺寸(mm)
GAP	1.5
R <sub>in</sub>	14.8
R <sub>out</sub>	18.3
t	2
H <sub>up</sub>	4
H <sub>mag</sub>	8
H <sub>bottom</sub>	2
磁通密度	0.921843

表 5-2a 具反磁激震器實物材料參數

材料性質 \ 材料種類	空氣	磁體	導磁體
isotropic			
Relative Permeability ( $\mu_r$ )	1	1.05	6000
Anisotropic			
Coercive Force ( $H_c$ ) A/m	0	$7 \times 10^5$	0

表 5-2b 具反磁激震器實物尺寸

	尺寸(mm)
GAP	0.96
$R_{in}$	9.71
$R_{out}$	12.41
$R_a$	6.3
a	2.43
$t_y$	1.74
$H_{up}$	2
$H_{mag}$	5
$H_{bottom}$	4
$t_a$	1.5
$t_p$	1

表 5-3 具反磁激震器實驗與分析之比較

	具反磁薄片		無反磁薄片	
	實驗值(三次平均)	分析值	實驗值(三次平均)	分析值
磁通密度	1.121	1.154	1.073	1.085

表 6-1 揚聲器重要參數

第一自然頻率 $F_s$ (Hz)	96.13
阻尼比 $\xi$	0.093
振動系統質量 M(g)	4.38
勁度 K(N/m)	1598.24
推力係數 BL	2.57

表 6-2 1000Hz 之聲壓

	模擬值	B&K 量測	LMS 量測
聲壓(dB)	78.145944	75.67	78.06



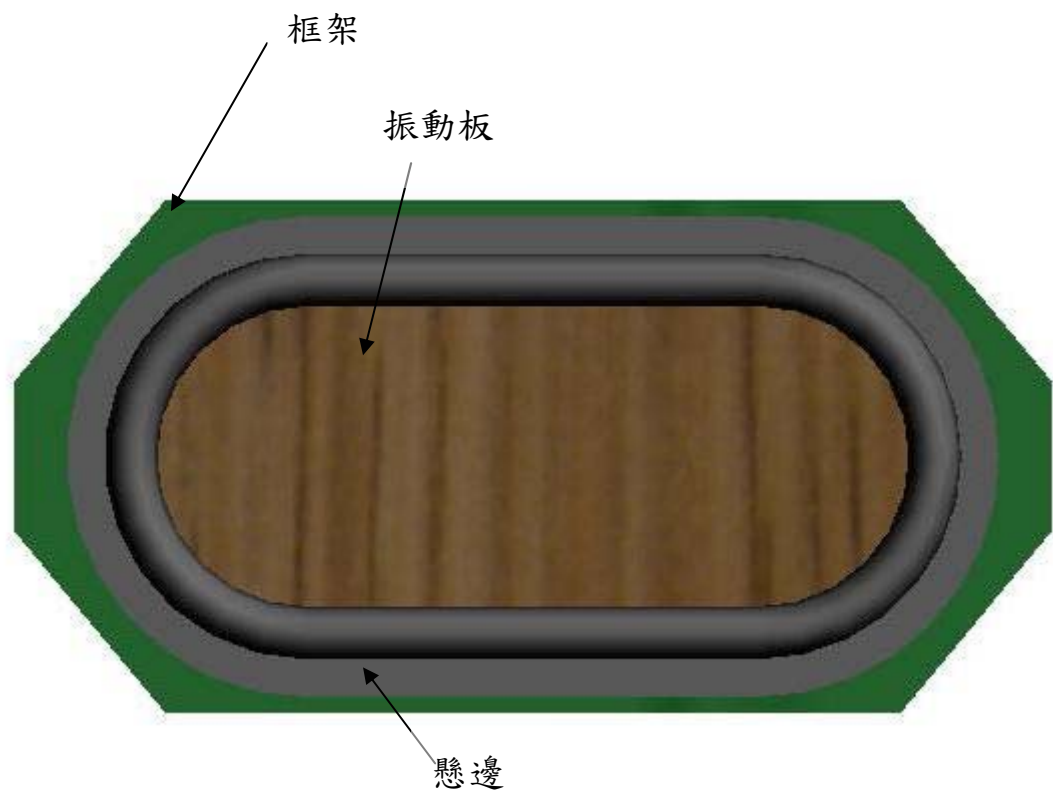


圖 1.1a 電磁動圈式揚聲器上視圖

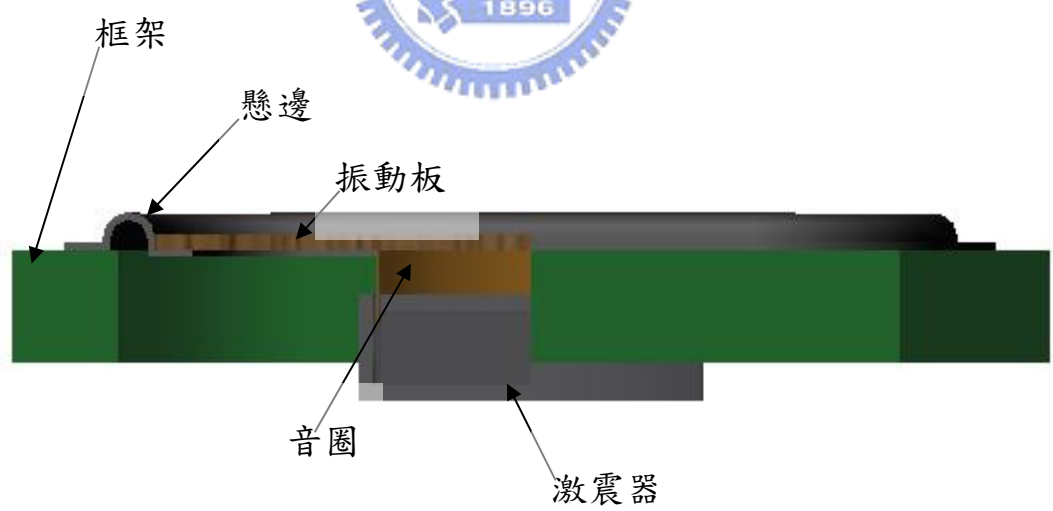


圖 1.1b 電磁動圈式揚聲器側視半剖面圖



圖 1.1c 電磁動圈式揚聲器四分之三剖面爆炸圖

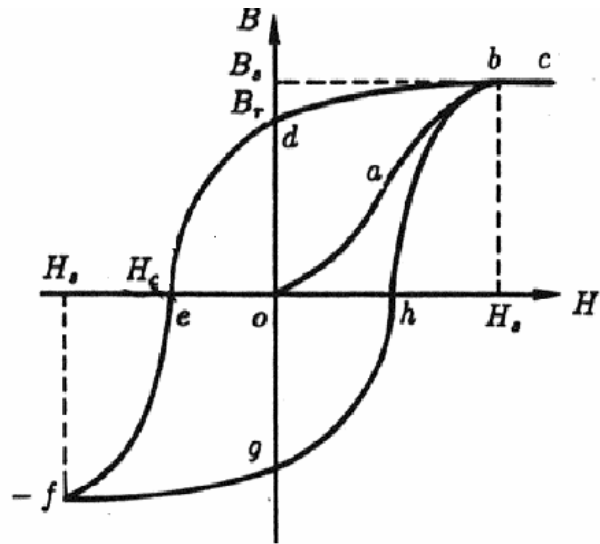


圖 2.1 磁性材料的磁化曲線

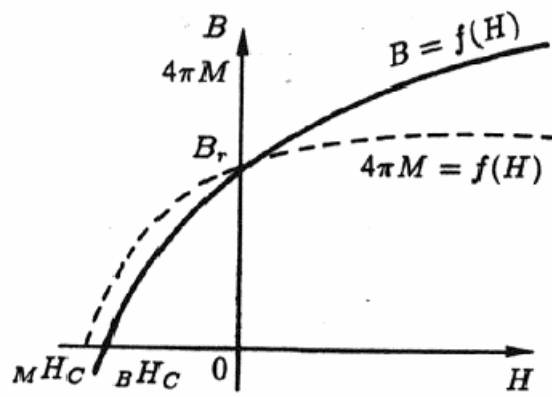


圖 2.2 永磁材料的退磁曲線

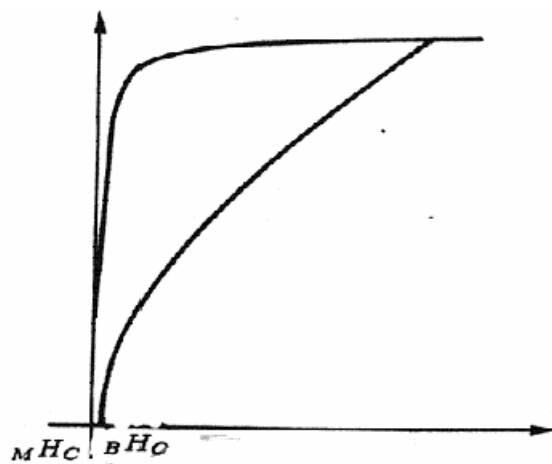


圖 2.3 稀土鈷磁體的矯頑磁力曲線

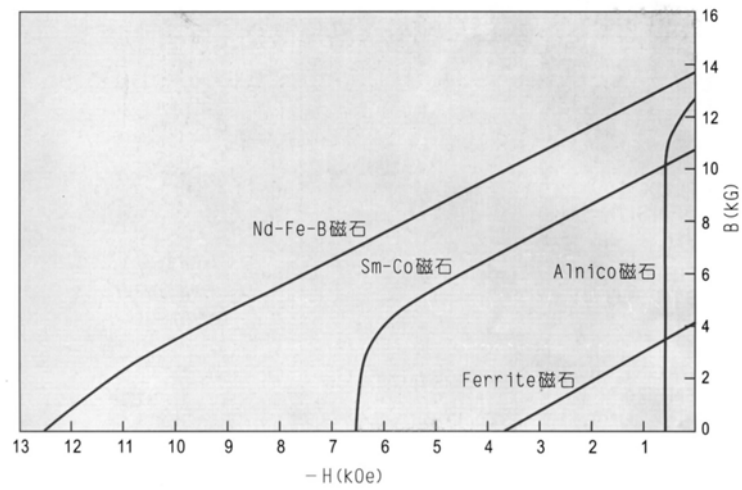


圖 2.4 各種磁石退磁特性曲線

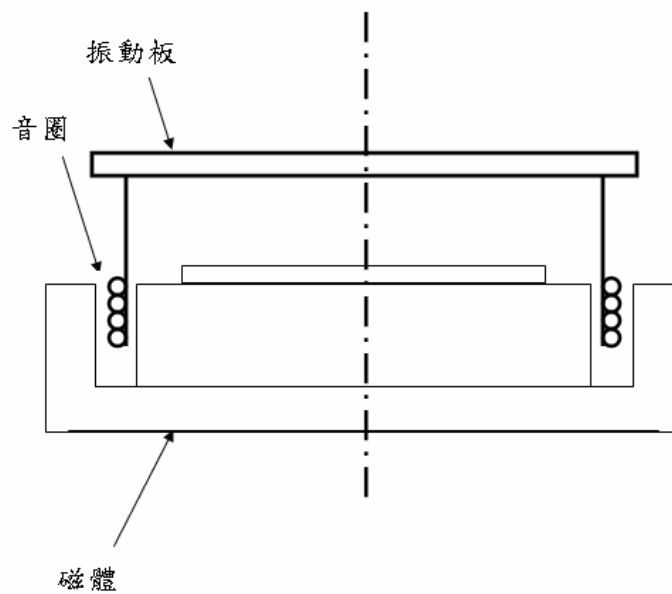


圖 2.5 內磁式激震器

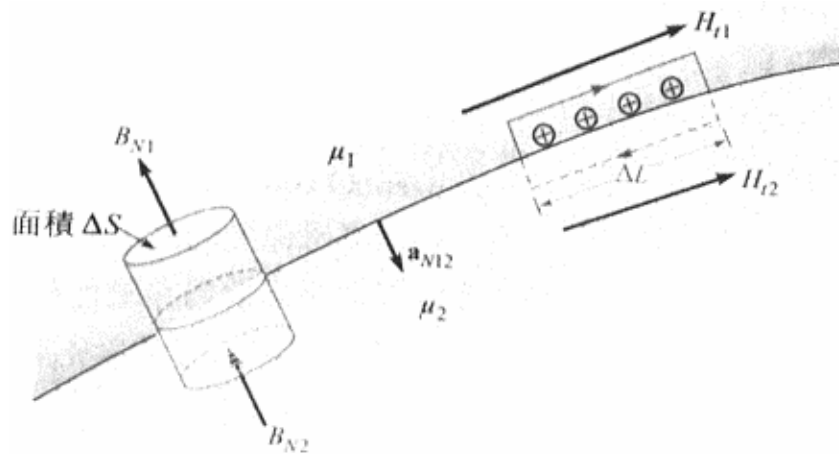


圖 2.6 在兩種介質的邊界上做一個高斯表面和一條閉和路線

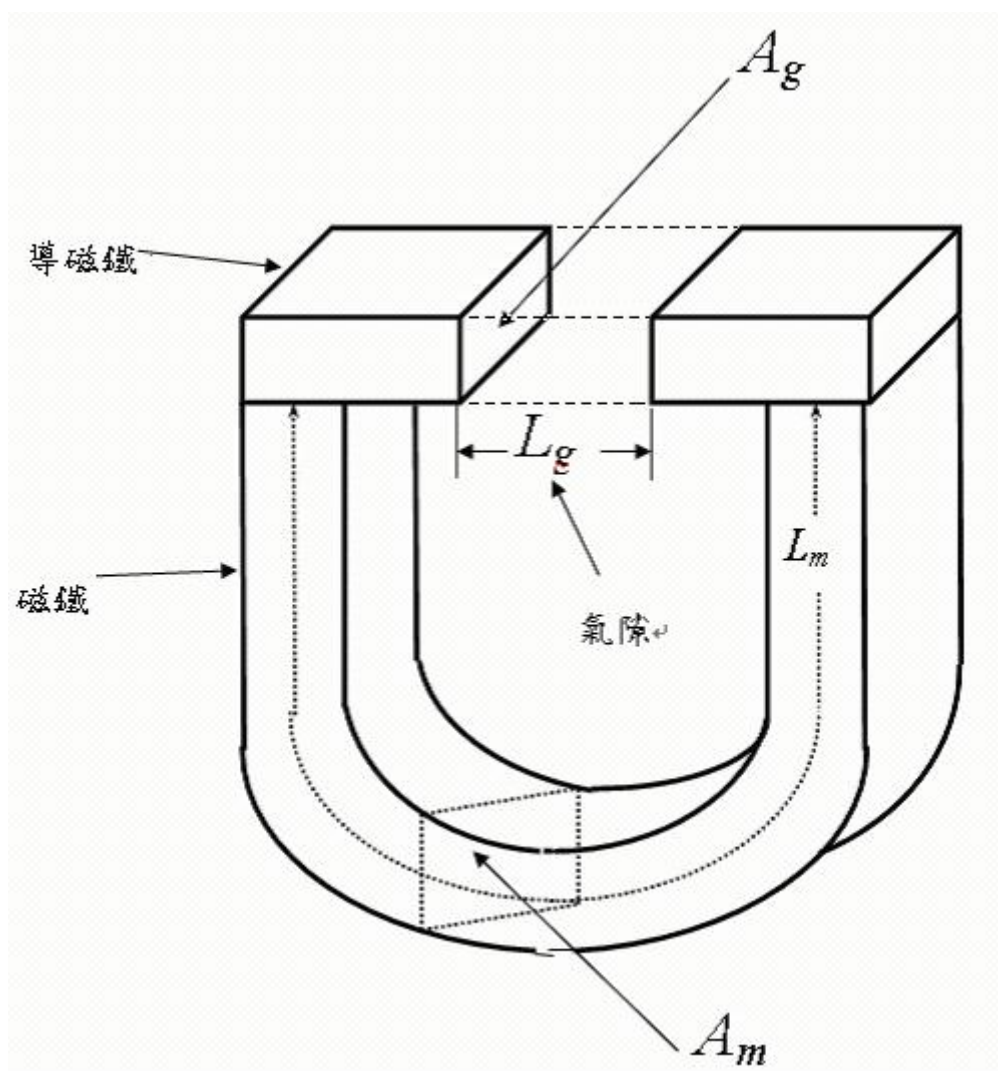


圖 2.7 理想磁路

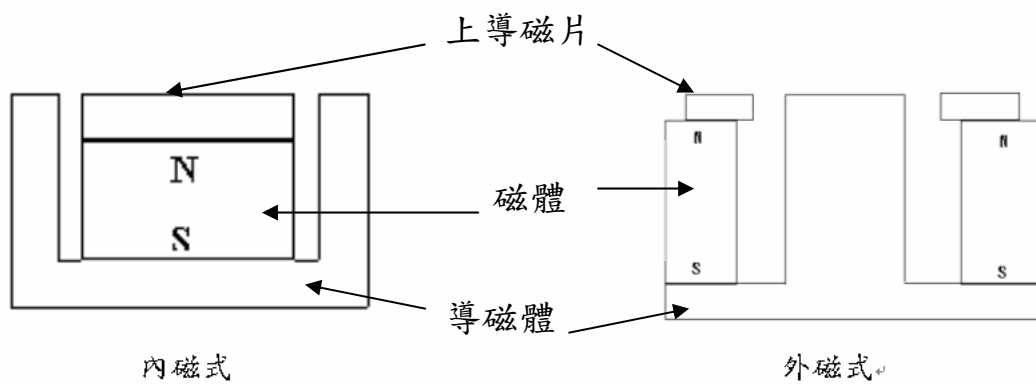


圖 3.1 內磁式與外磁式激震器

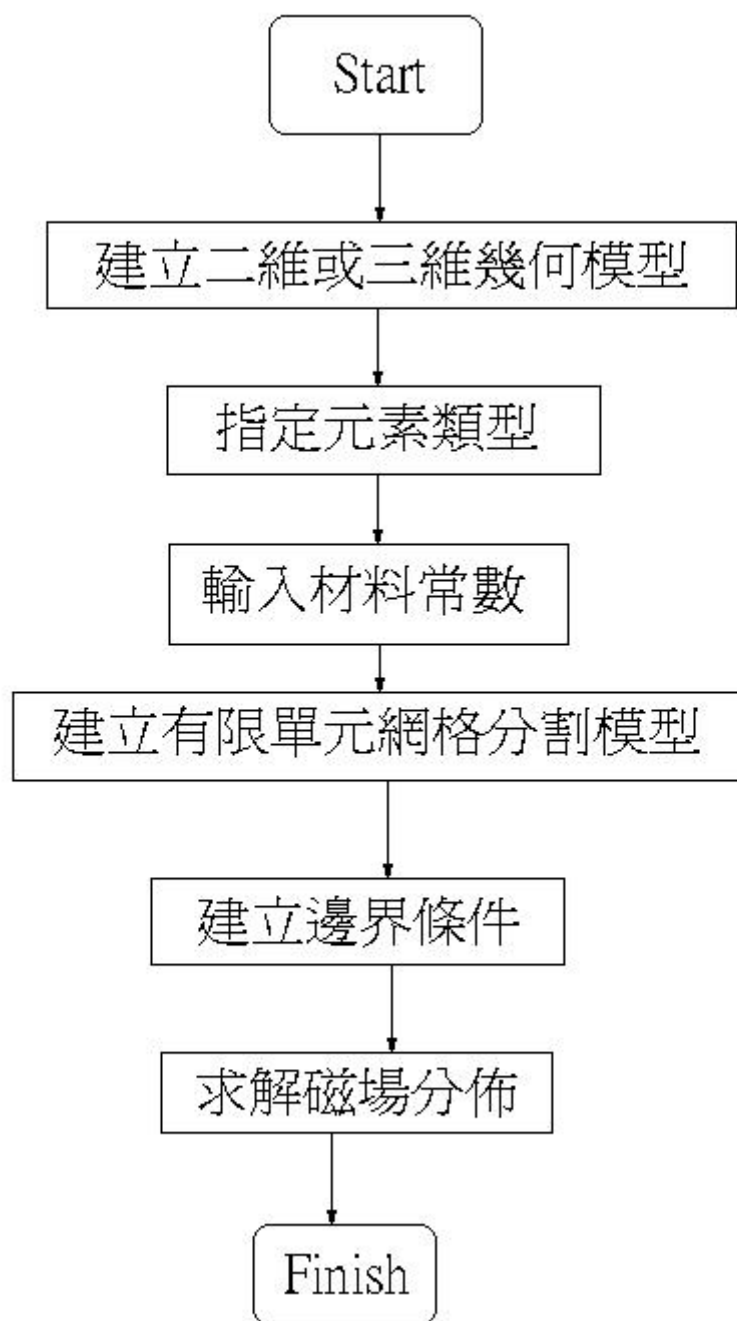


圖 3.2 磁場分析流程

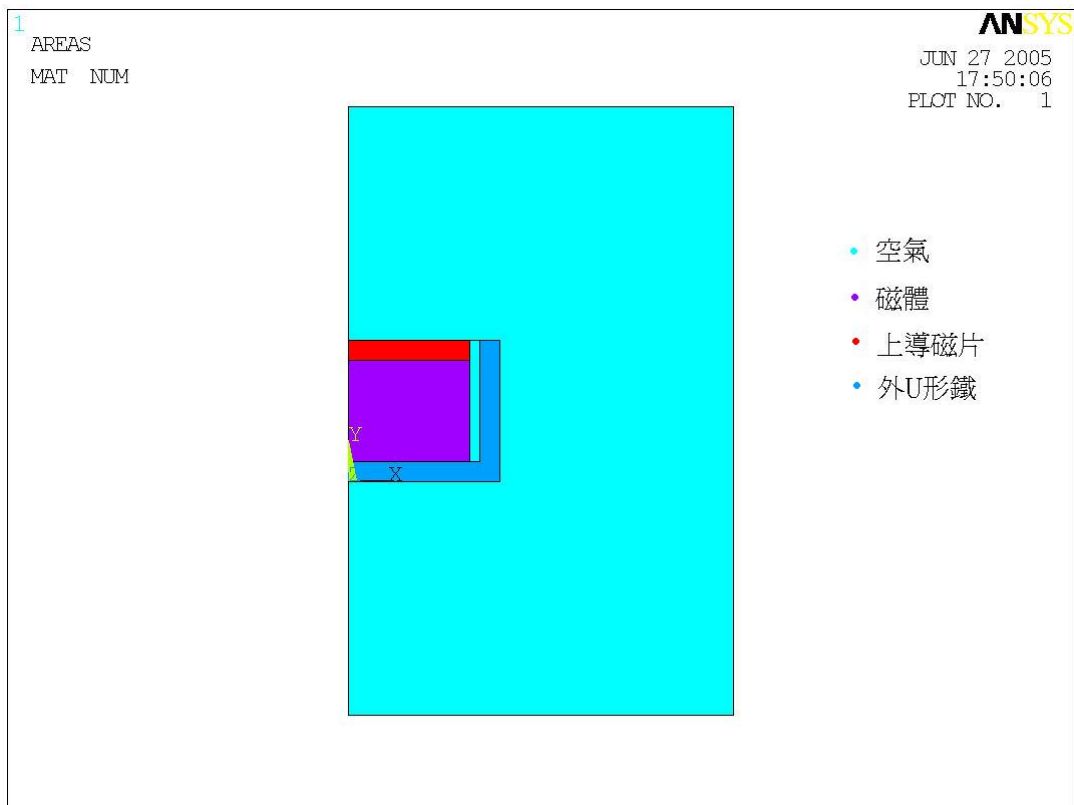


圖 3.3 二維幾何模型

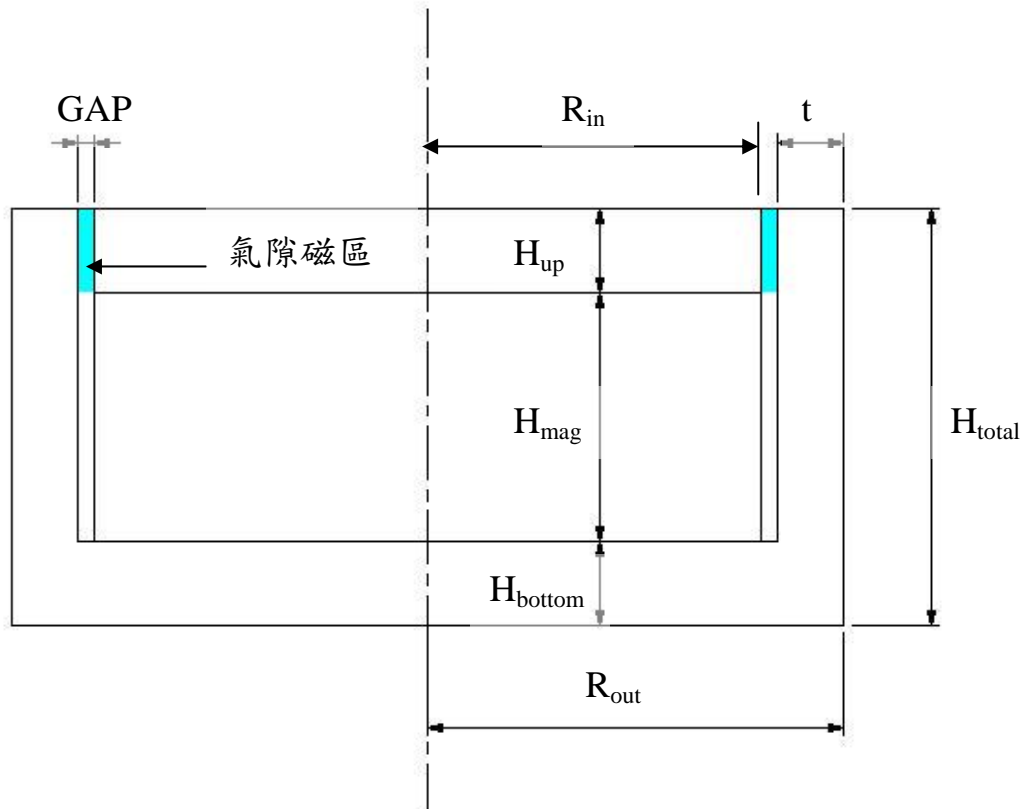


圖 3.4 二維幾何示意圖

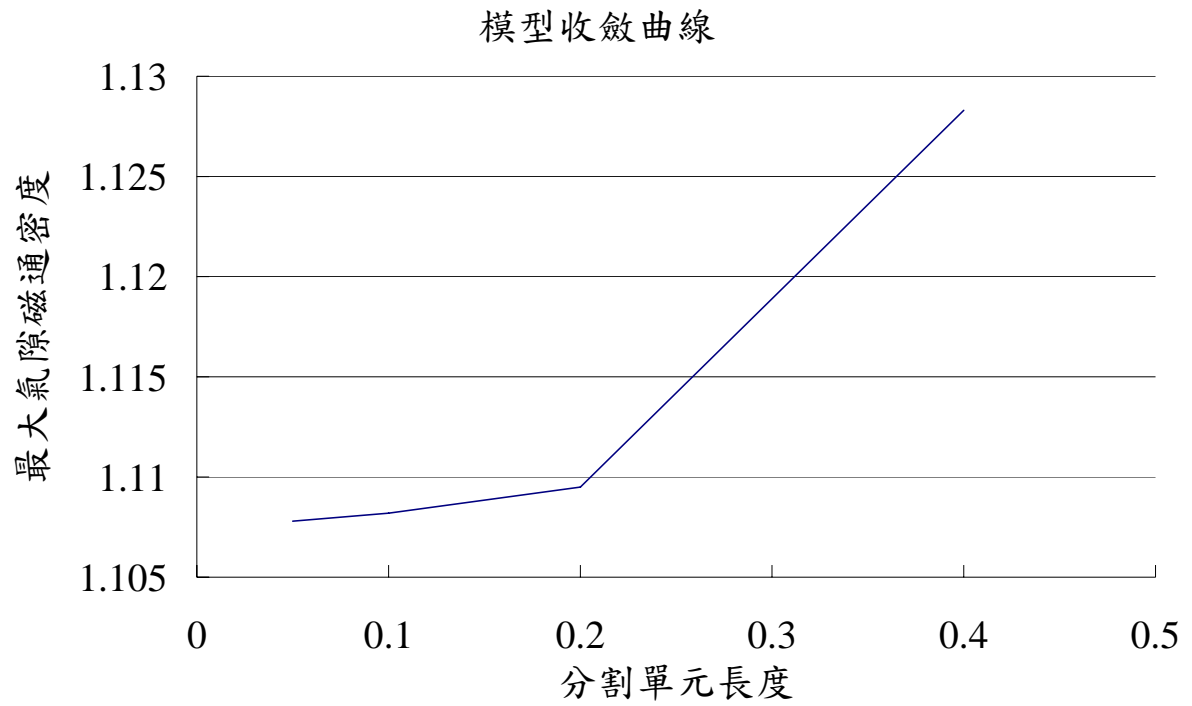


圖 3.5 二維模型的元素收斂範圍

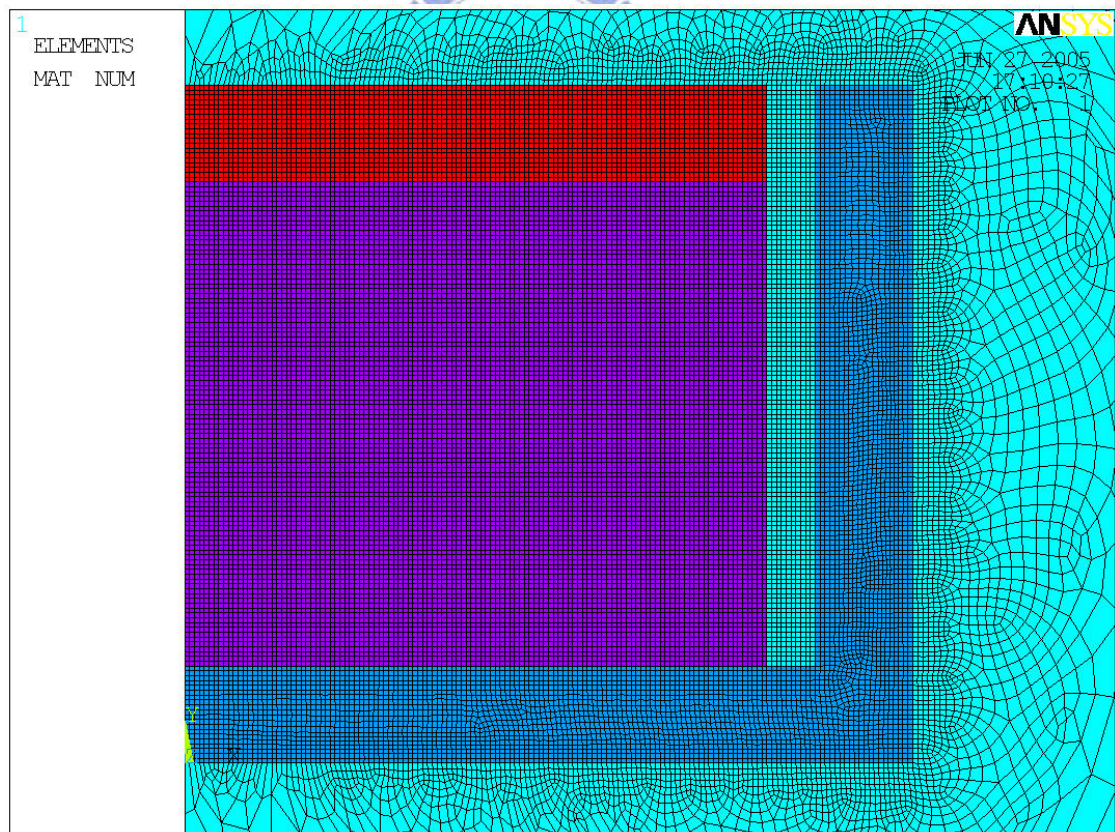


圖 3.6 二維收斂元素模型

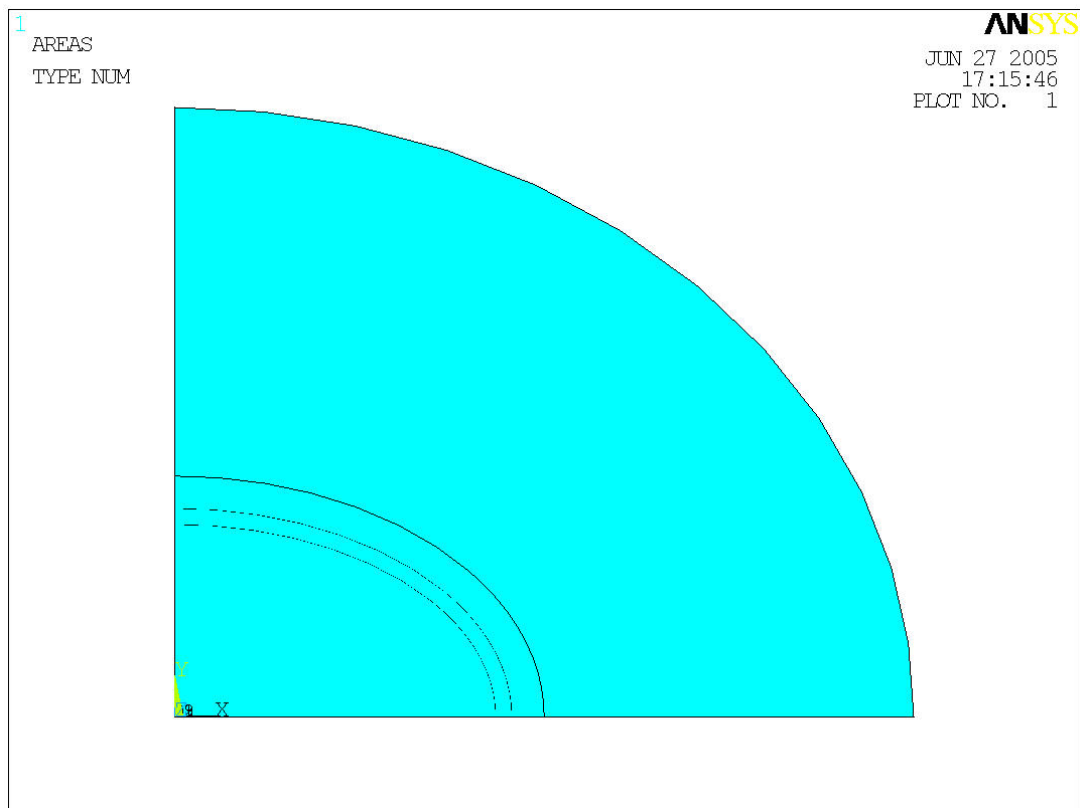


圖 3.7 三維上視幾何模型

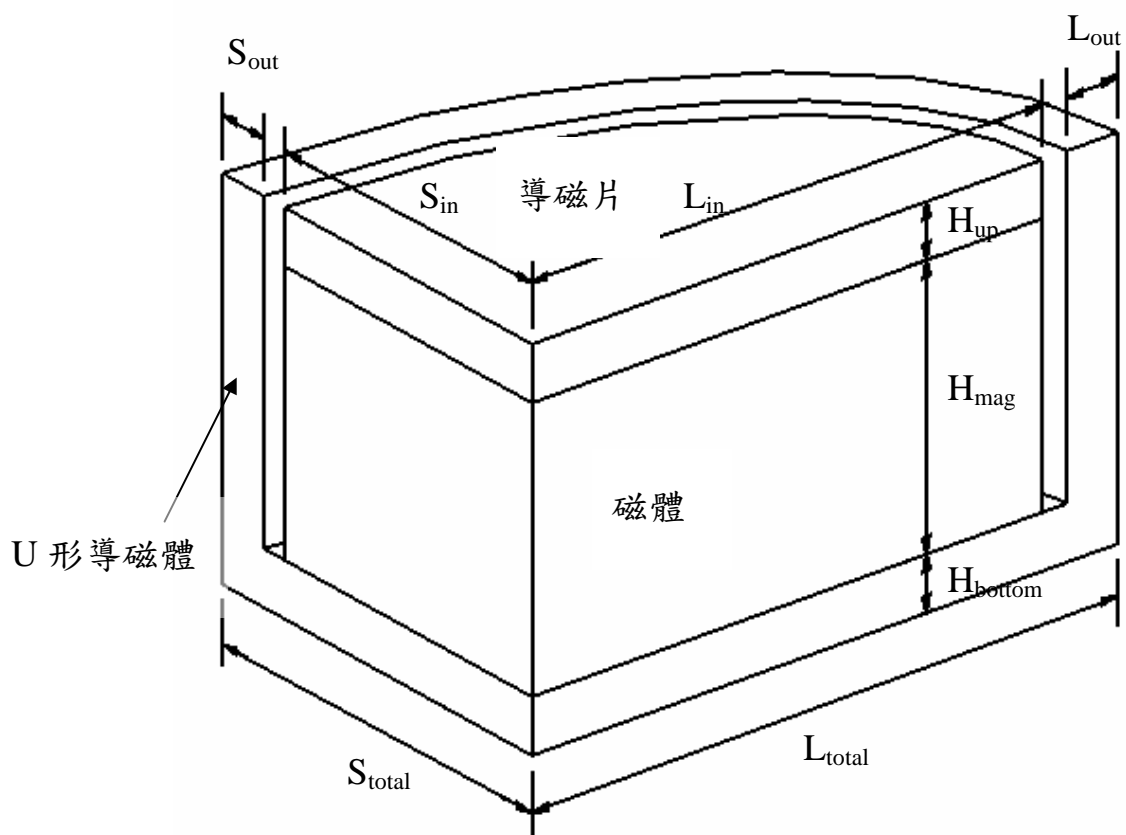


圖 3.8 三維幾何示意圖

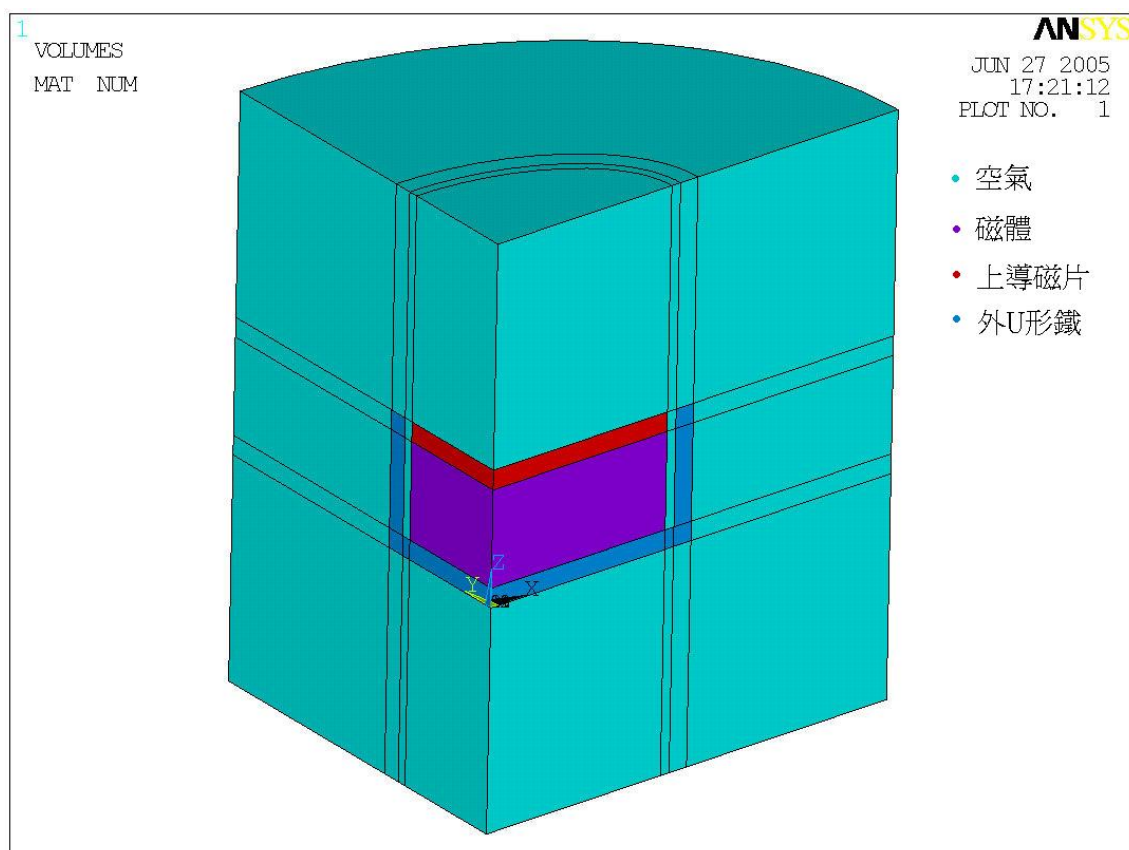


圖 3.9 三維幾何模型

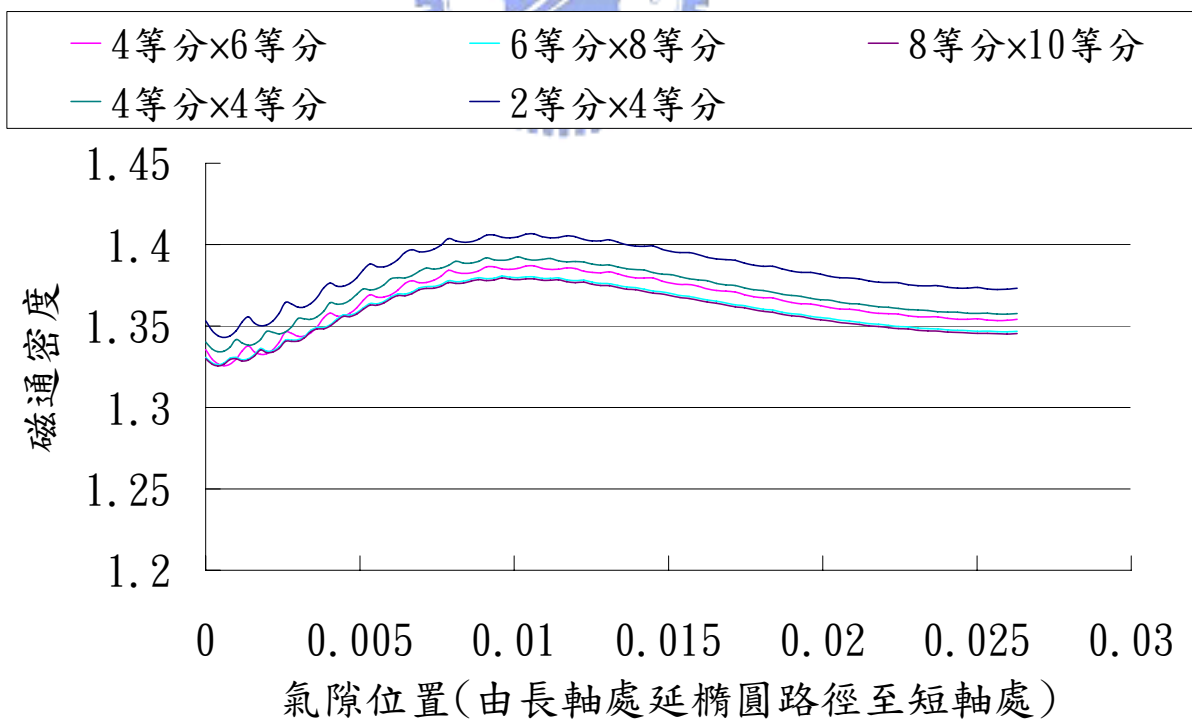


圖 3.10 三維模型的元素收斂範圍

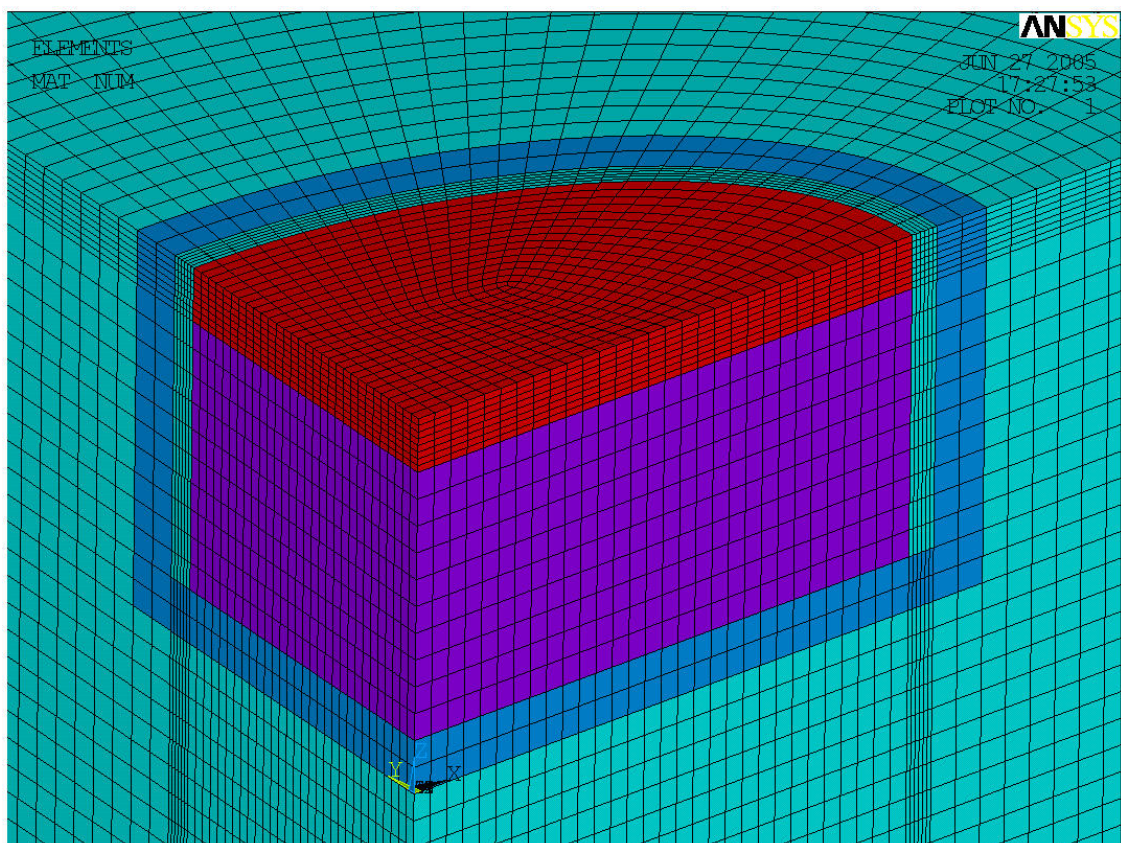


圖 3.11 三維元素模型

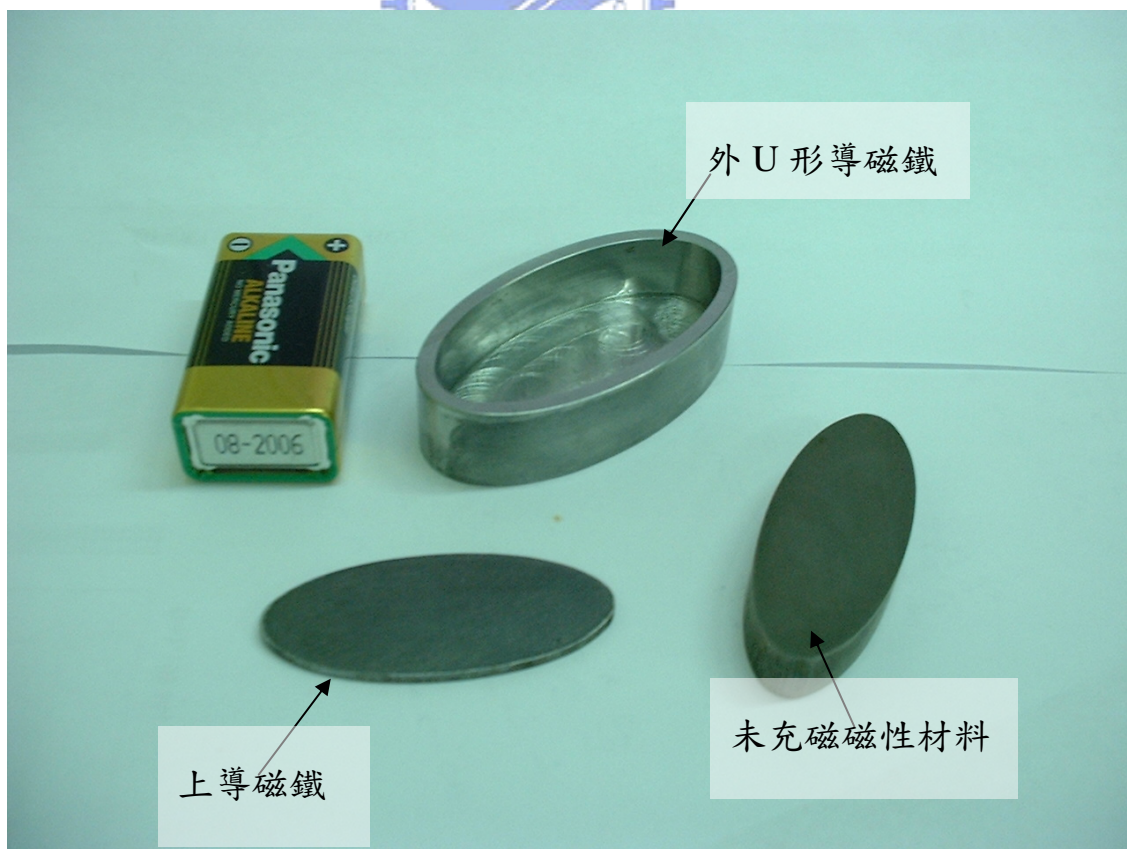


圖 4.1 組裝前之激震器零件



圖 4.2 組裝定位用置具

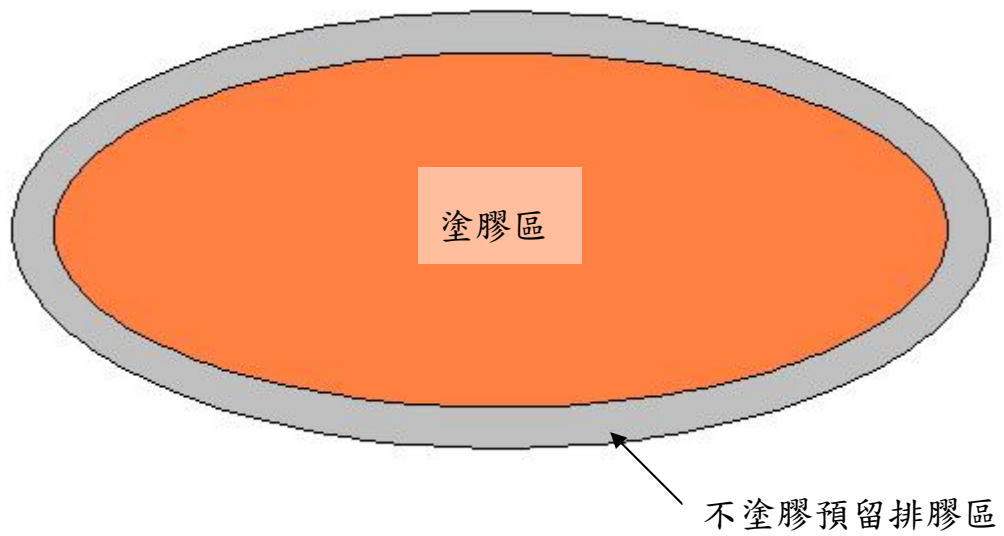


圖 4.3 上導磁片上膠區域示意圖

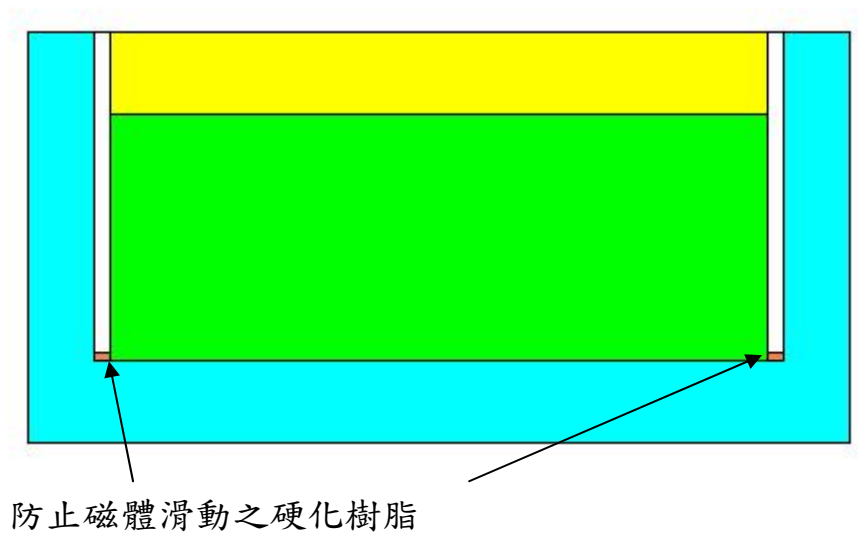


圖 4.4 餘膠硬化防滑示意圖



圖 4.5a 高斯計主機

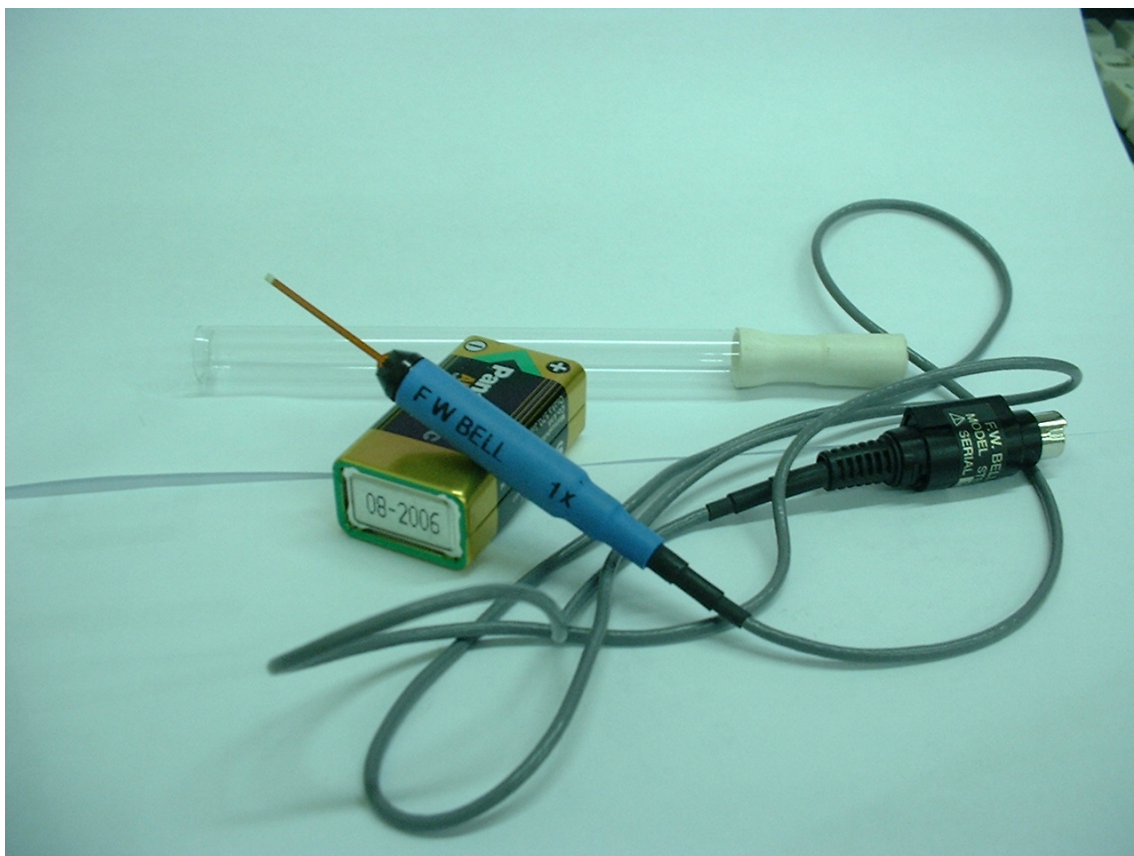


圖 4.5b 高斯計探針



圖 4.5c 高斯計探針尖端處

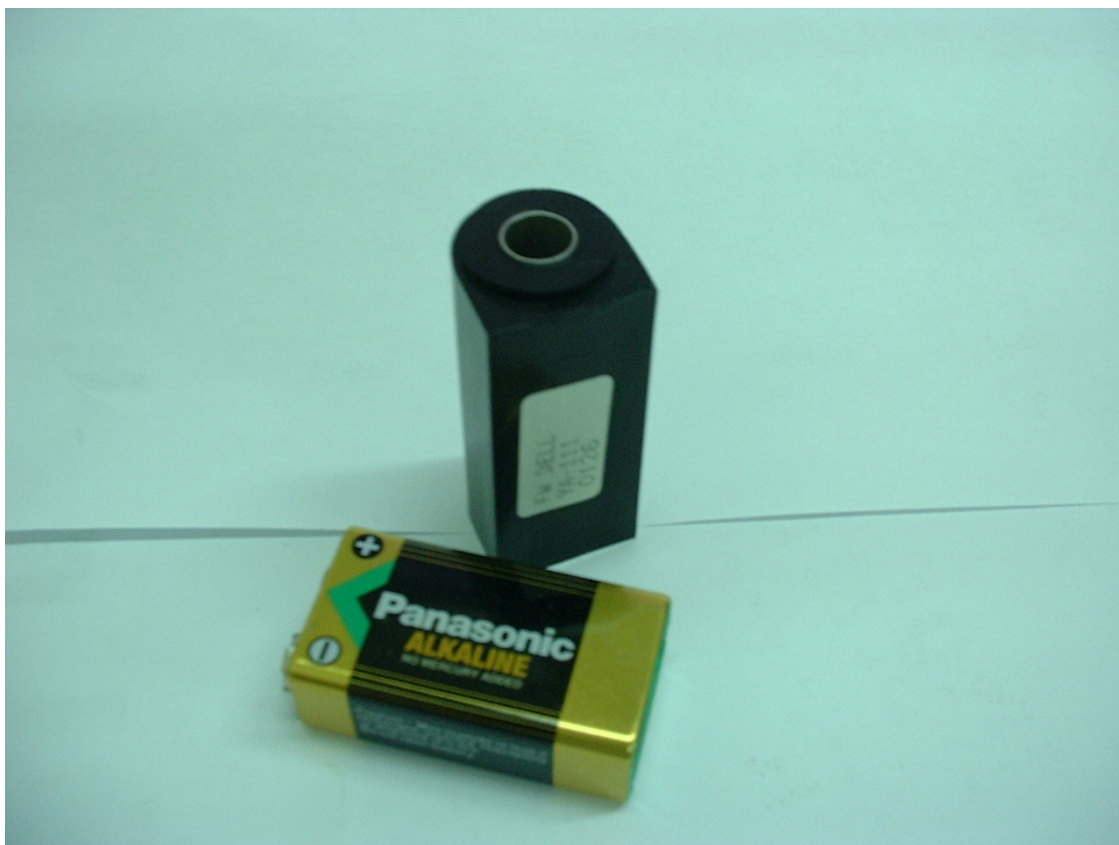


圖 4.5d 輔助歸零器



圖 4.6a 量測磁通密度架設(整體)



圖 4.6b 量測磁通密度架設(近照)

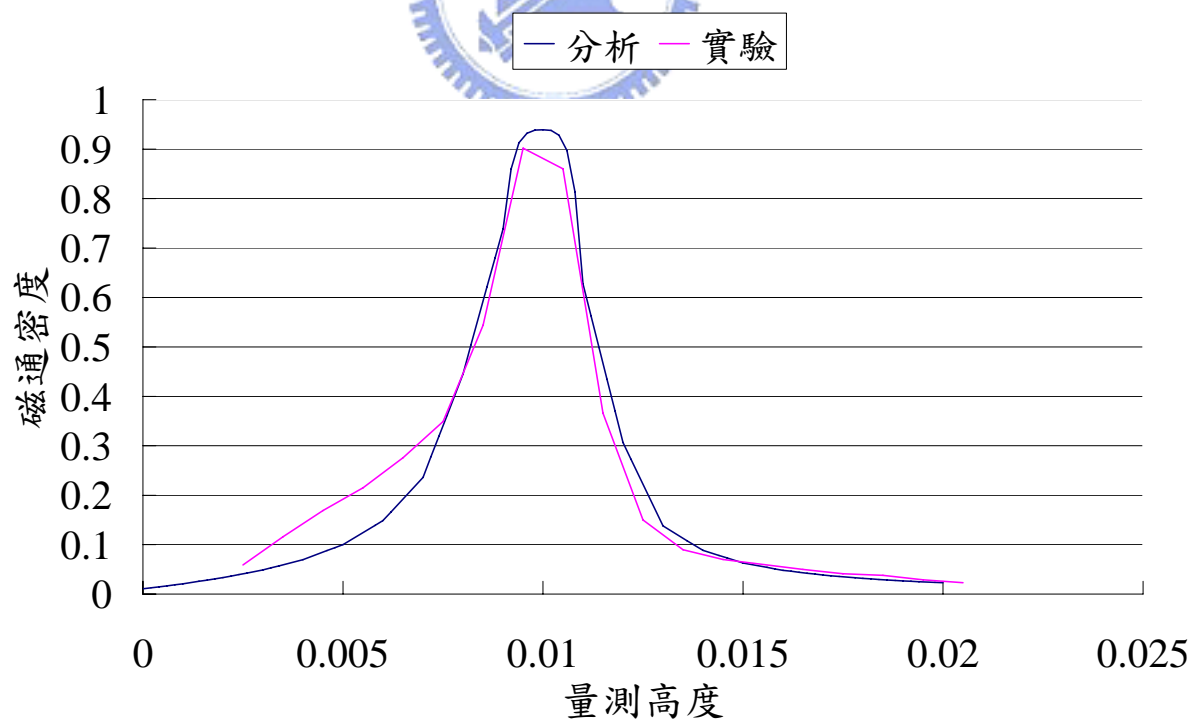


圖 4.7 橢圓形長軸處氣隙磁通密度厚度方向分佈

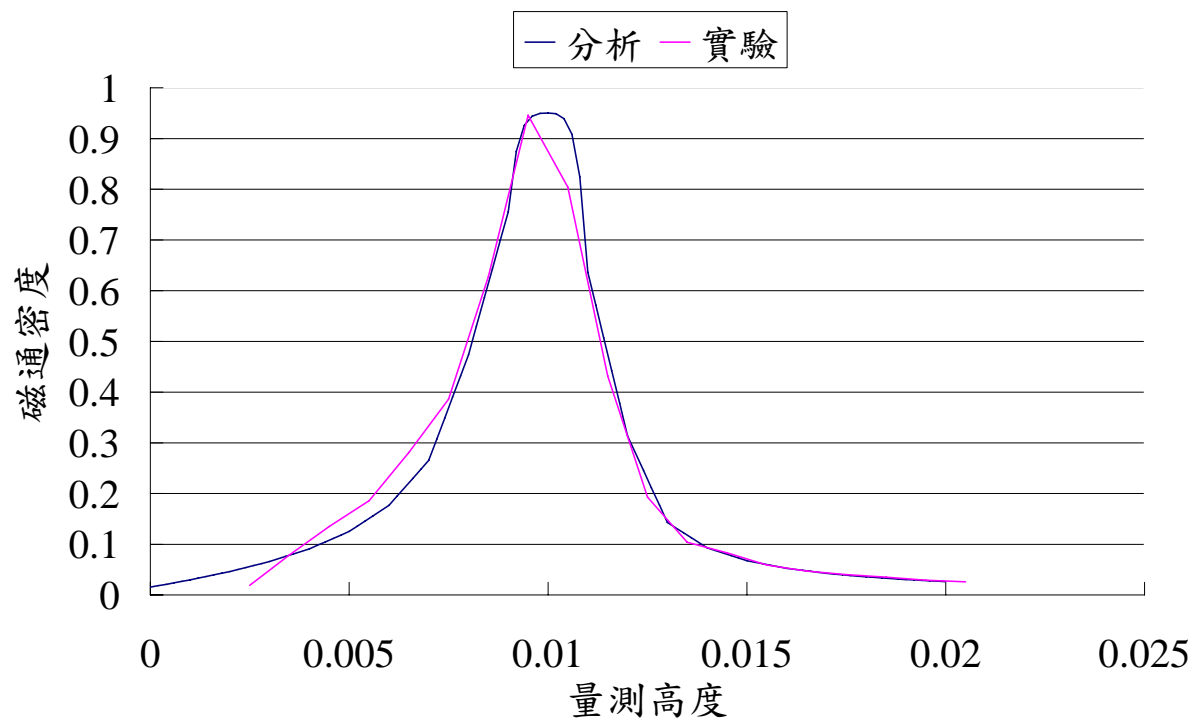


圖 4.8 橢圓形短軸處氣隙磁通密度厚度方向分佈

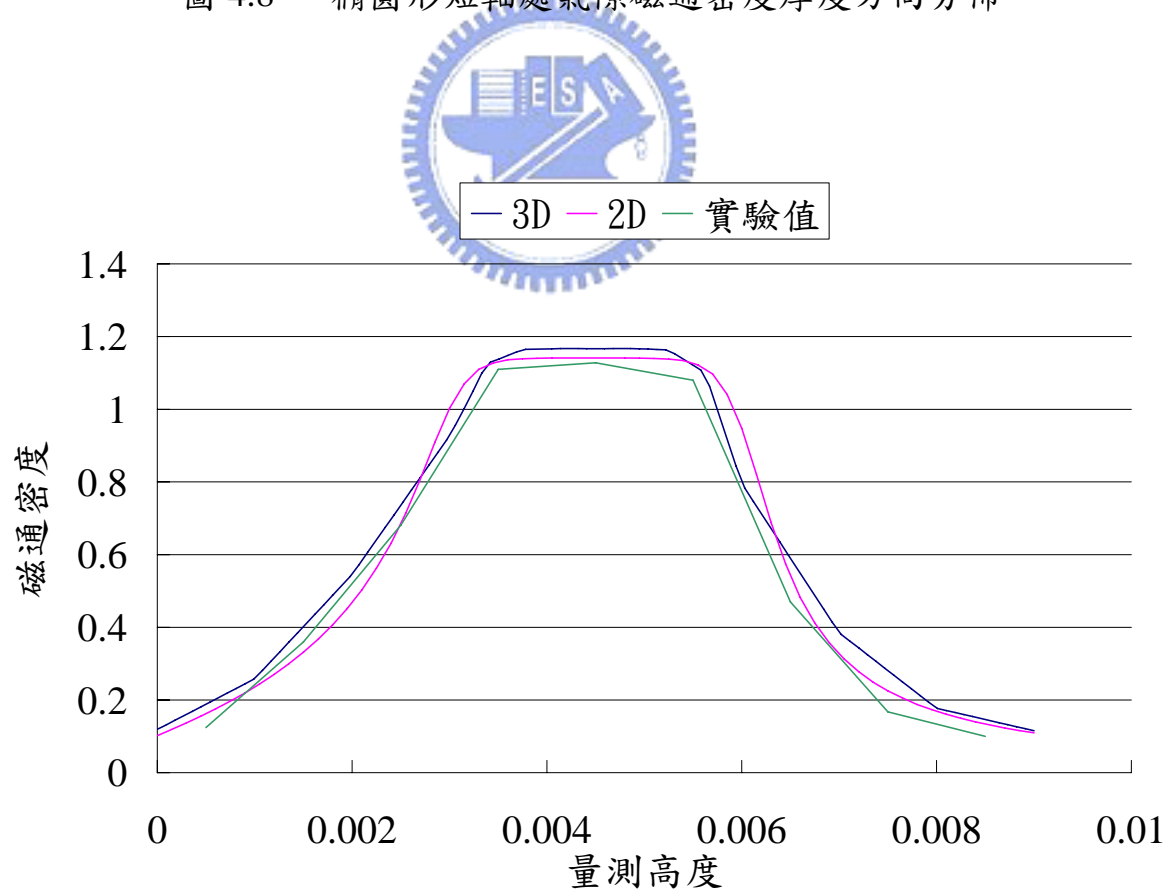


圖 4.9 圓形氣隙磁通密度厚度方向分佈

直徑33圓激震器

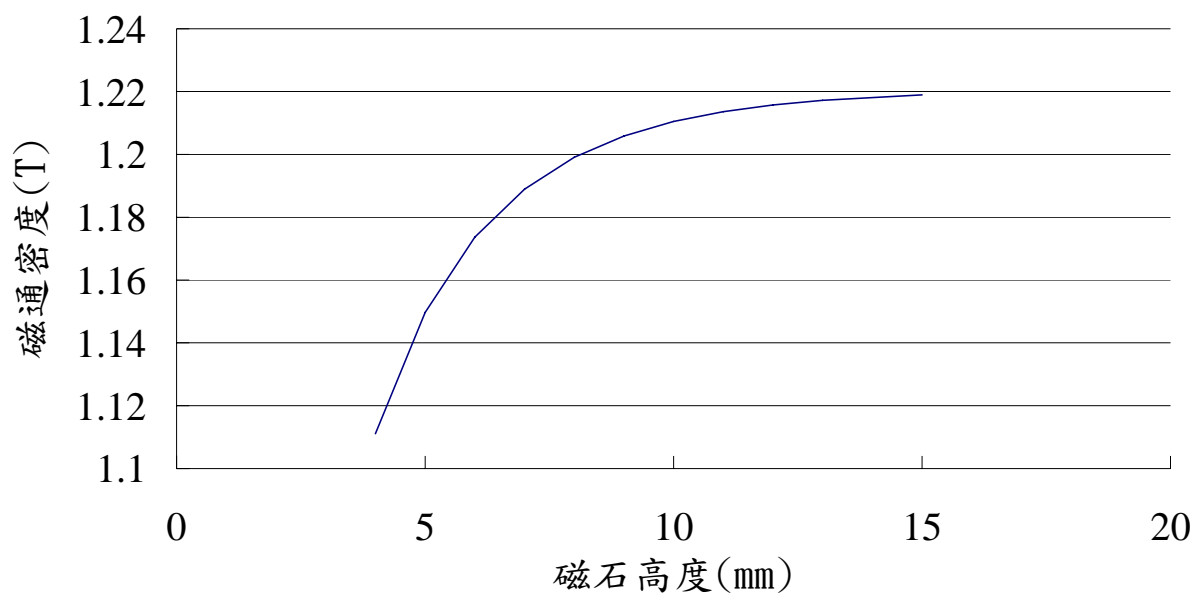


圖 5.1a 磁石高度對圓激震器的影響

短軸30長軸70橢圓激震器

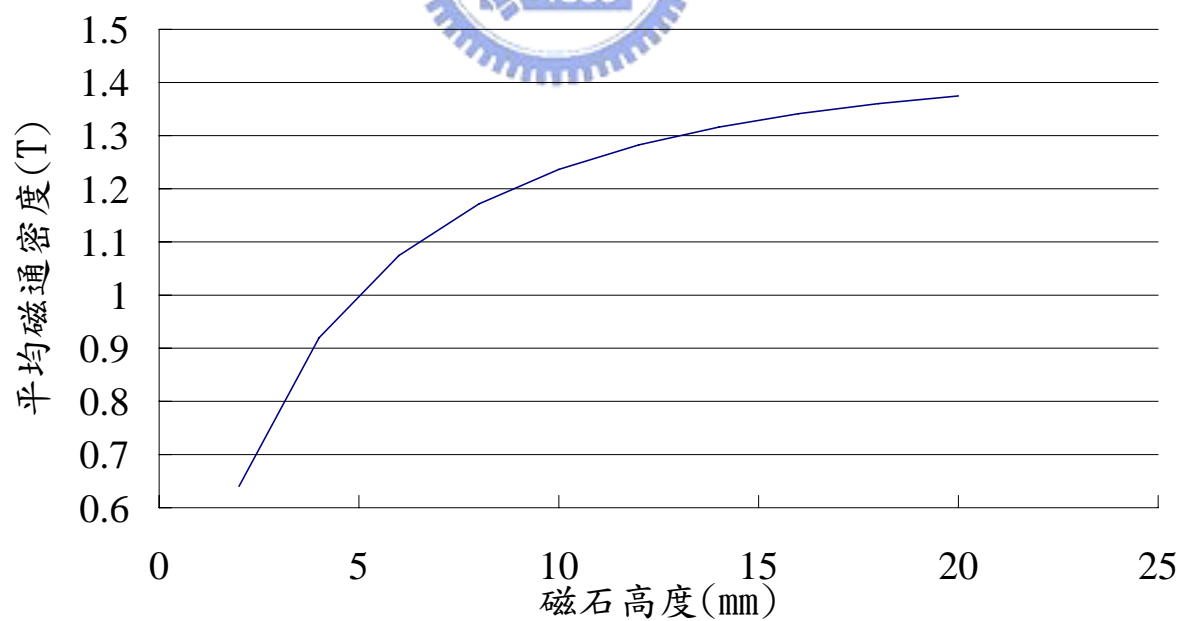


圖 5.1b 磁石高度對橢圓激震器的影響

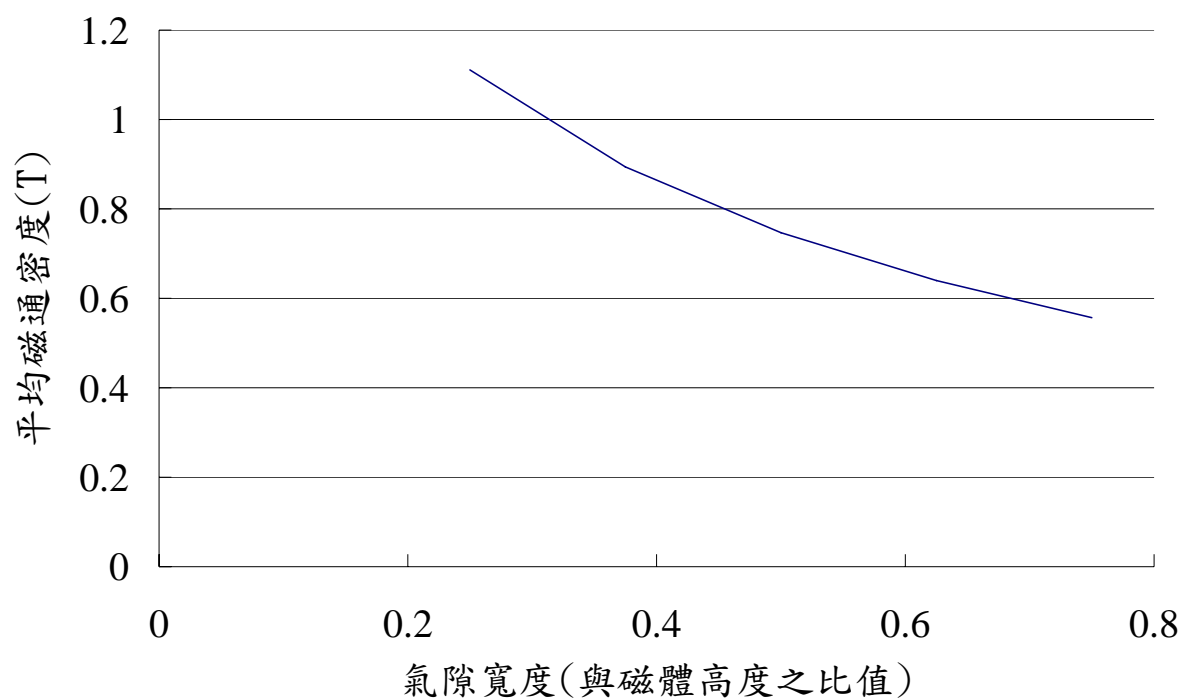


圖 5.2 氣隙寬度對激震器的影響

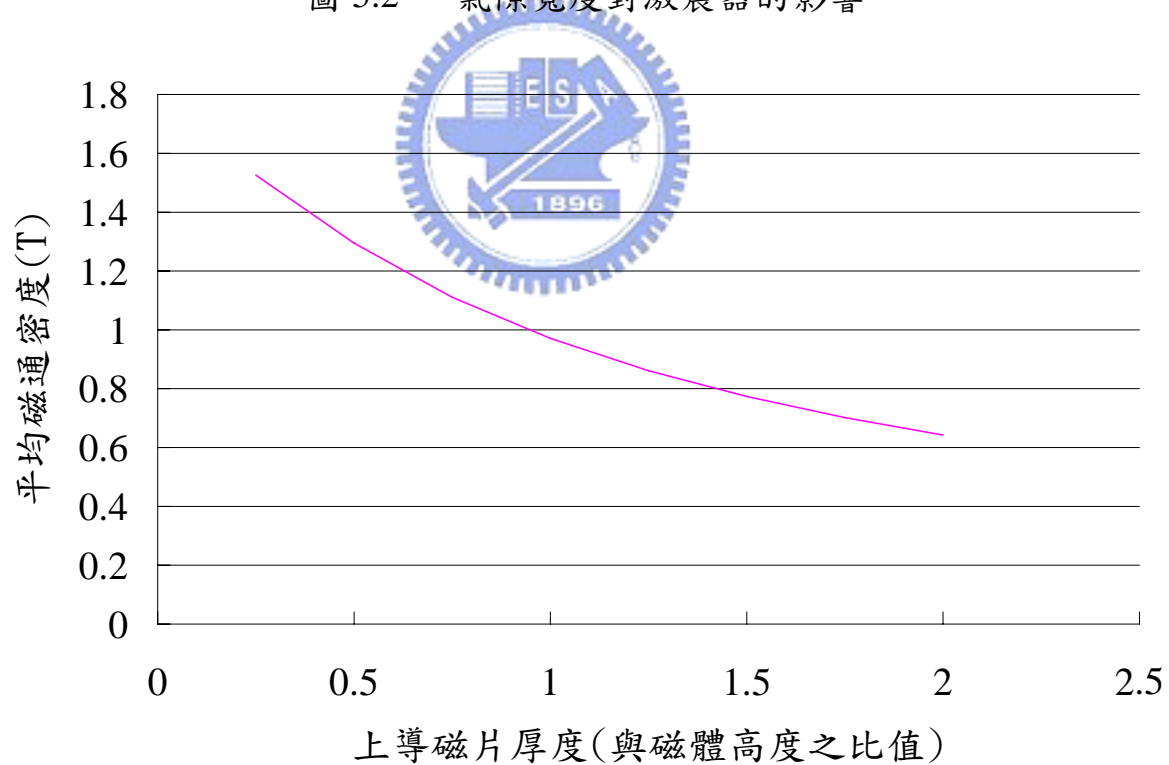


圖 5.3 上導磁片厚度對激震器的影響

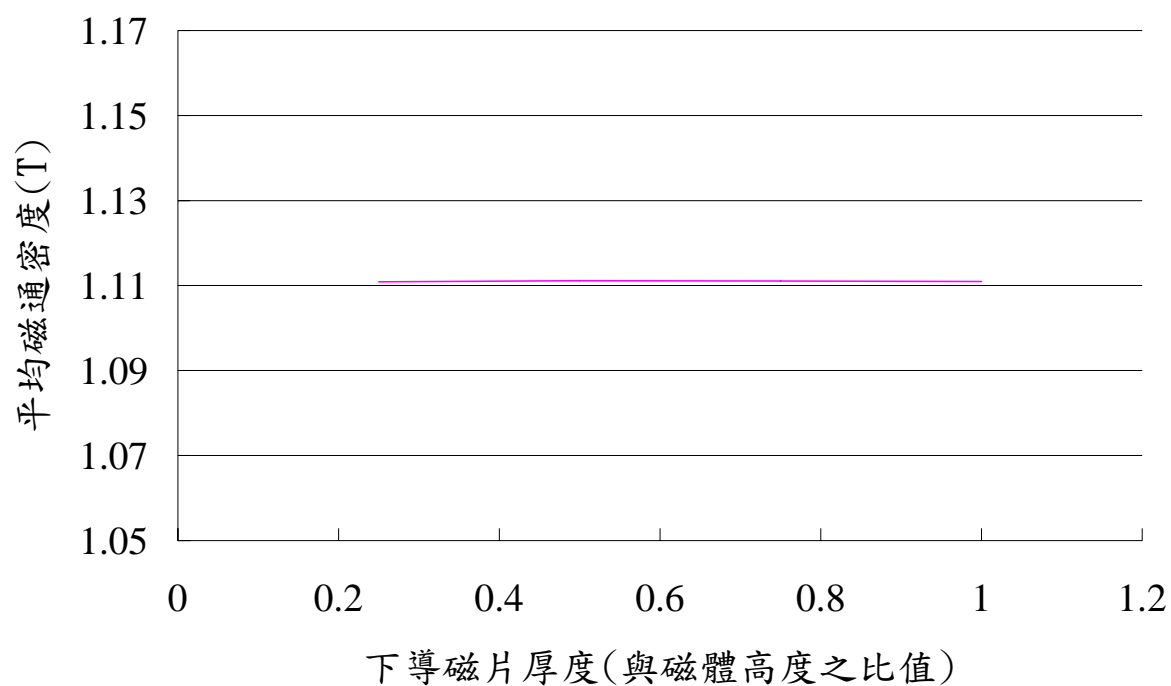


圖 5.4 下導磁片厚度對激震器的影響

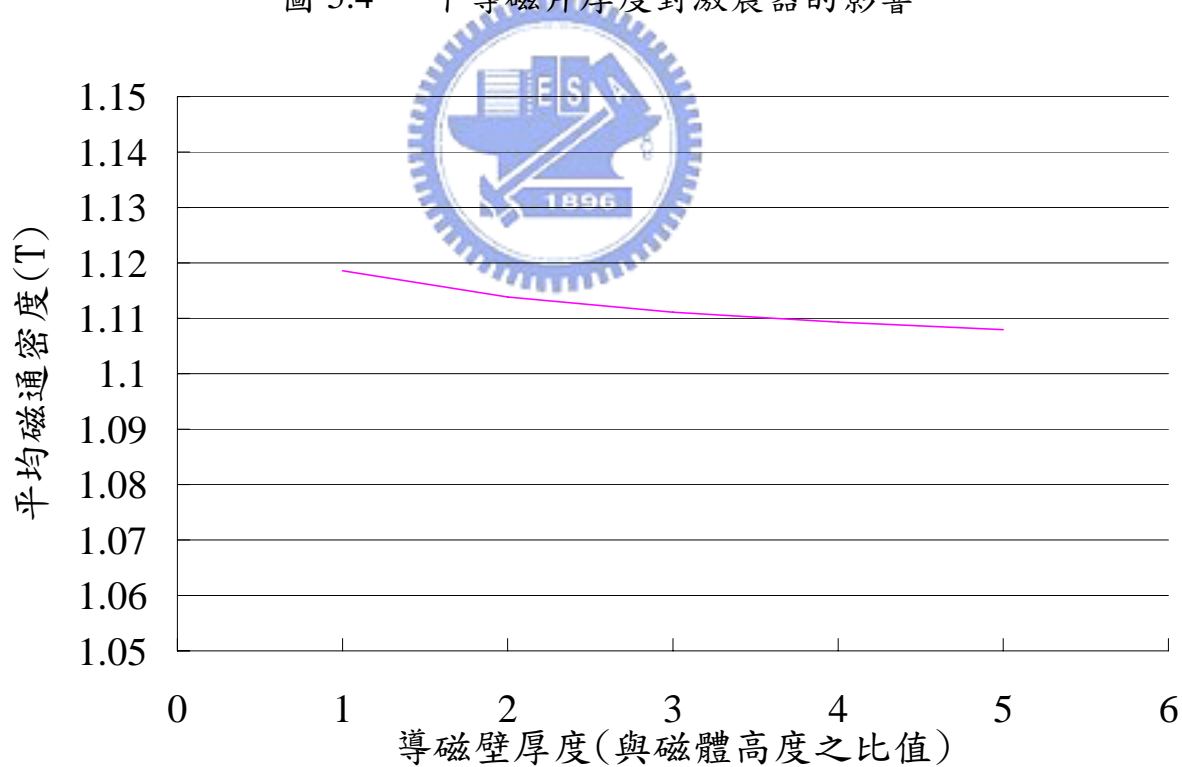


圖 5.5 導磁壁厚度對激震器的影響

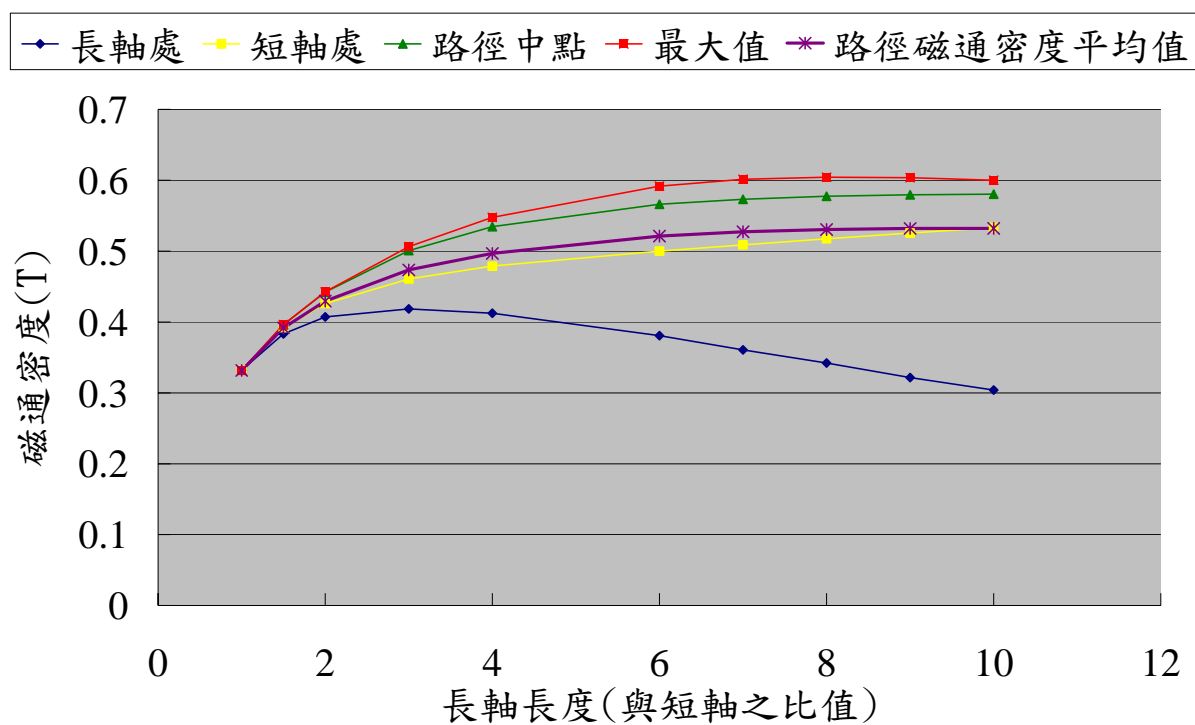


圖 5.6a 橢圓激震器長短軸比對氣隙磁通密度之影響

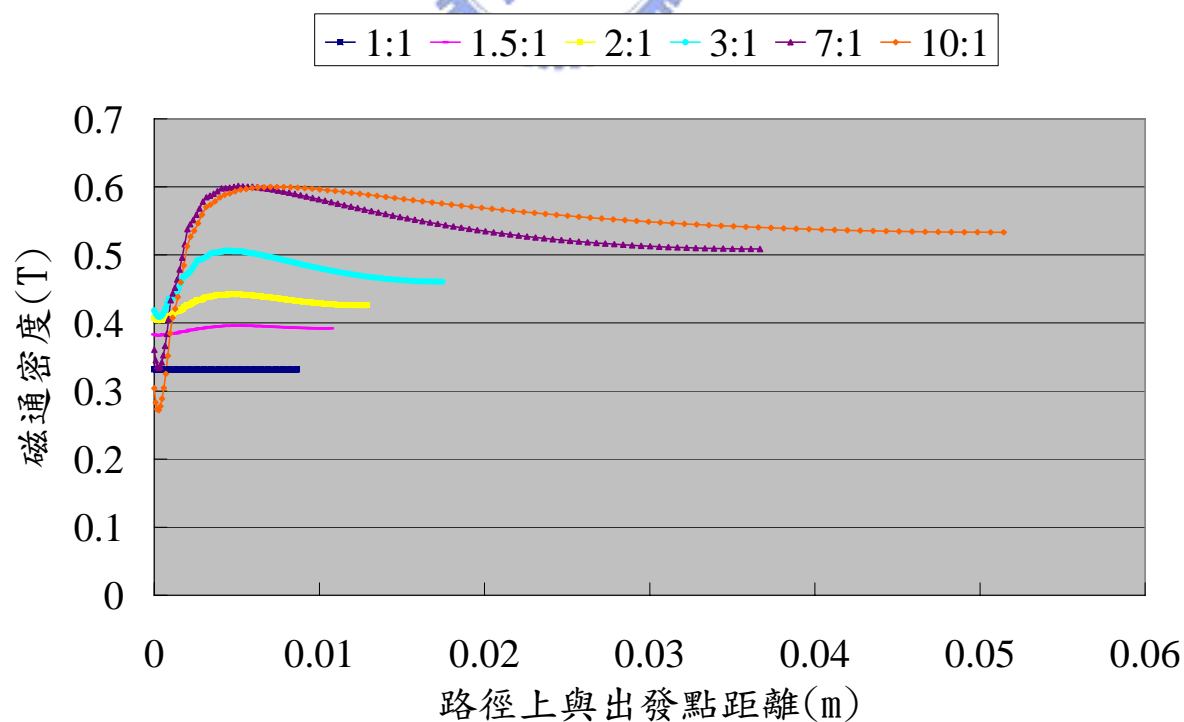


圖 5.6b 橢圓激震器不同長短軸比的氣隙磁通密度分佈

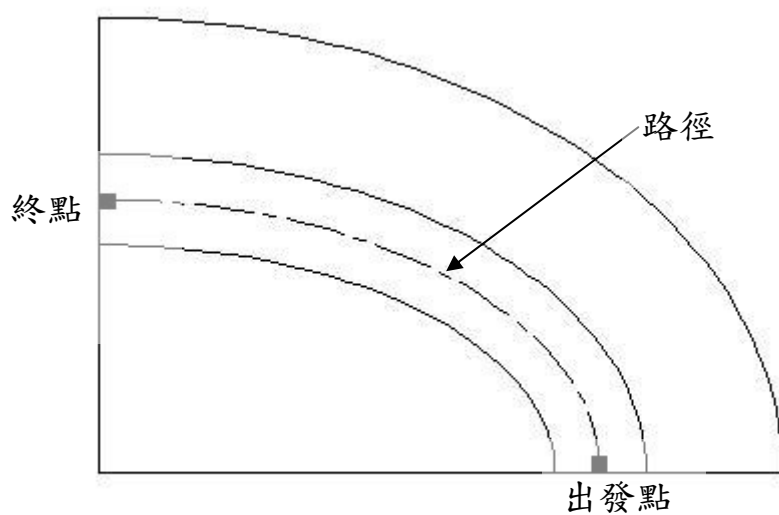


圖 5.6c 路徑示意圖

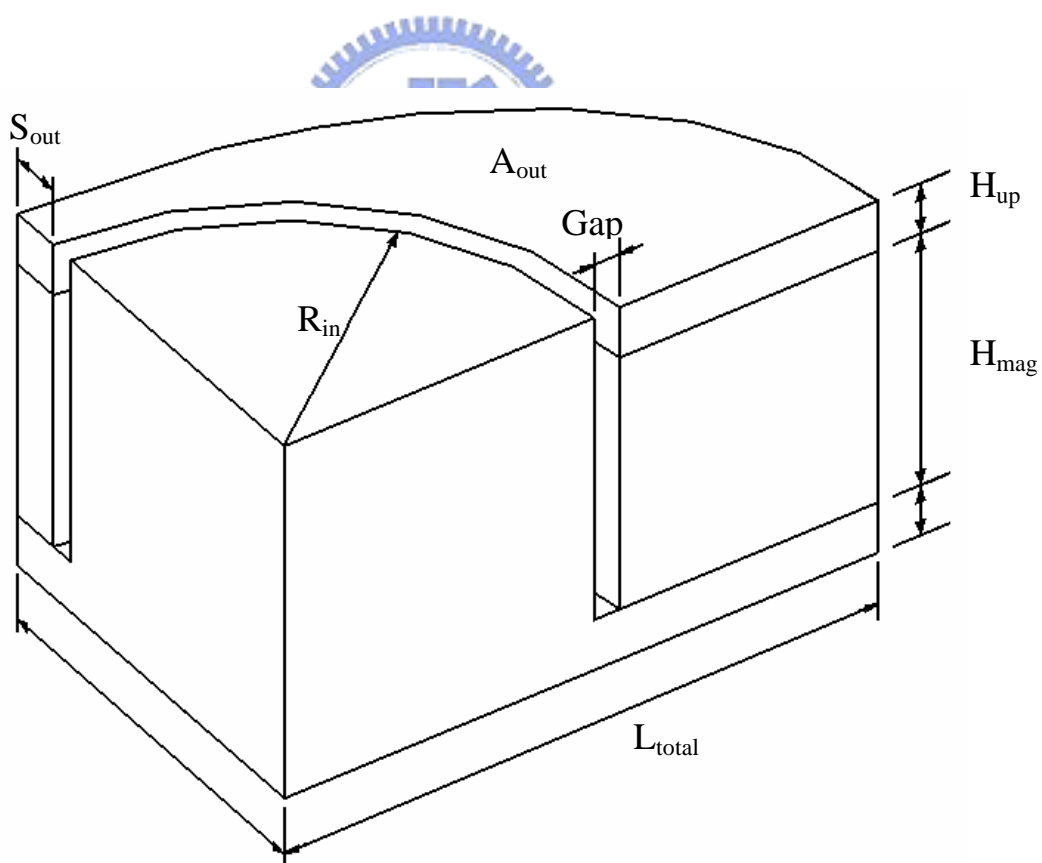


圖 5.7 圓音圈橢圓外磁式激震器幾何模型

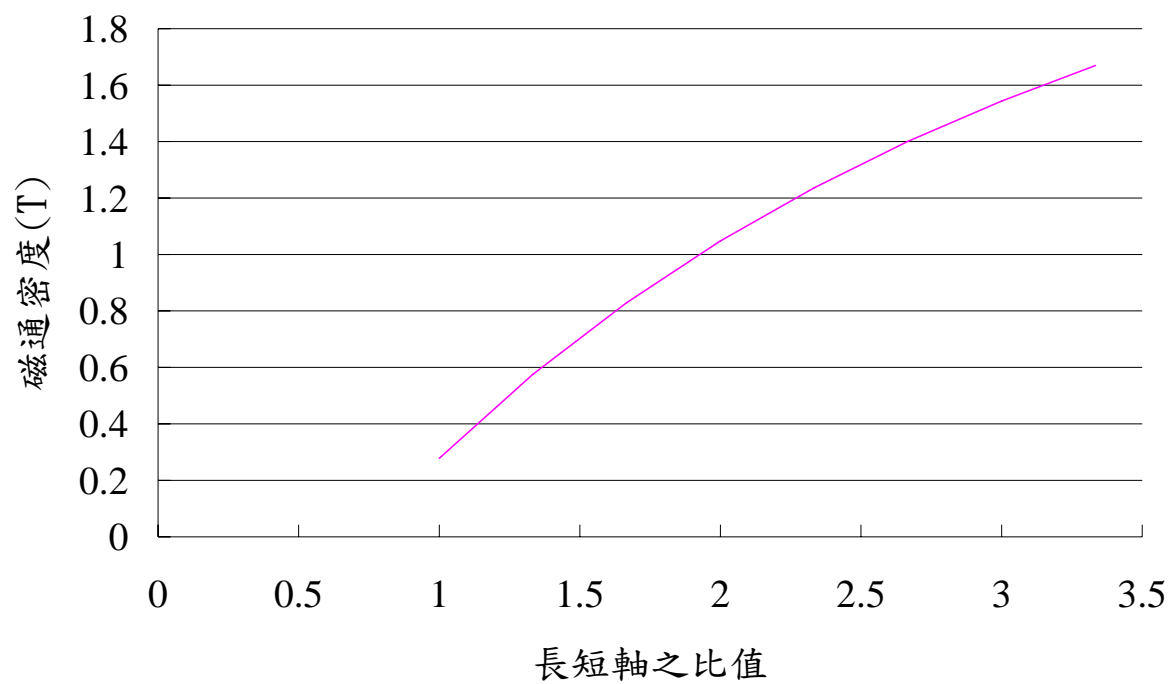


圖 5.8 長軸長度與磁通密度關係圖

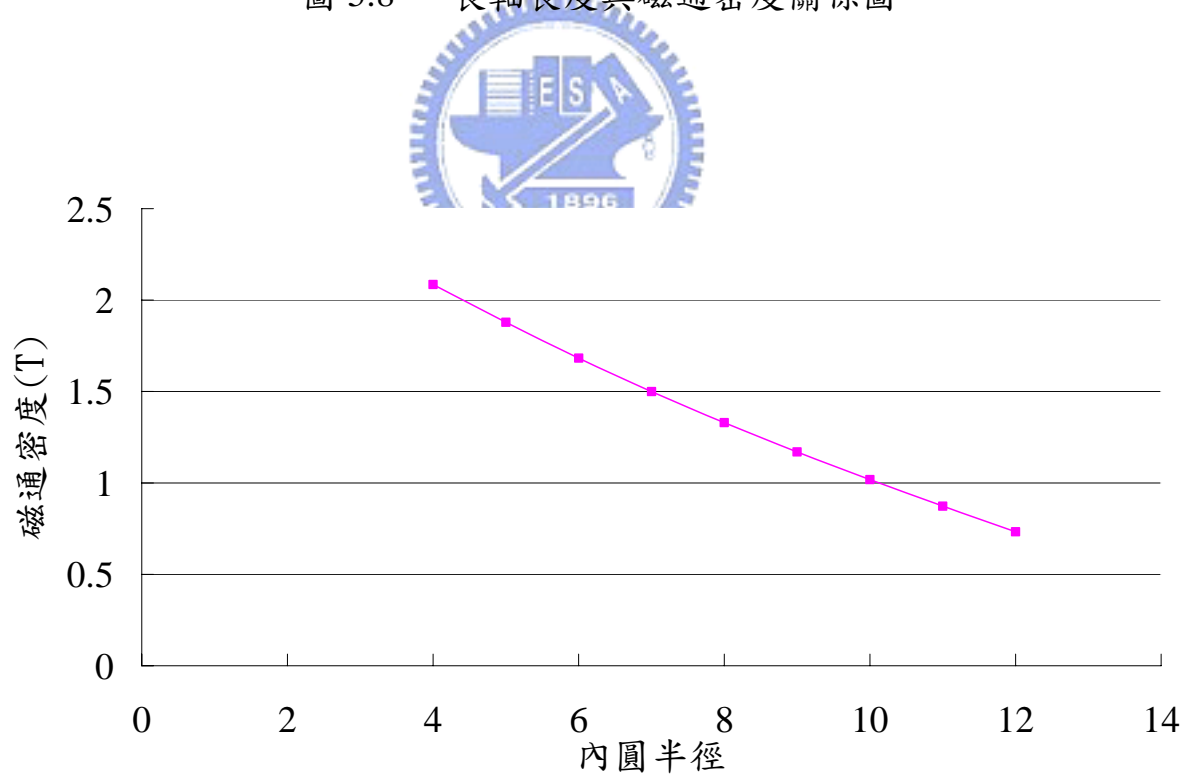


圖 5.9 內圓半徑與磁通密度關係圖

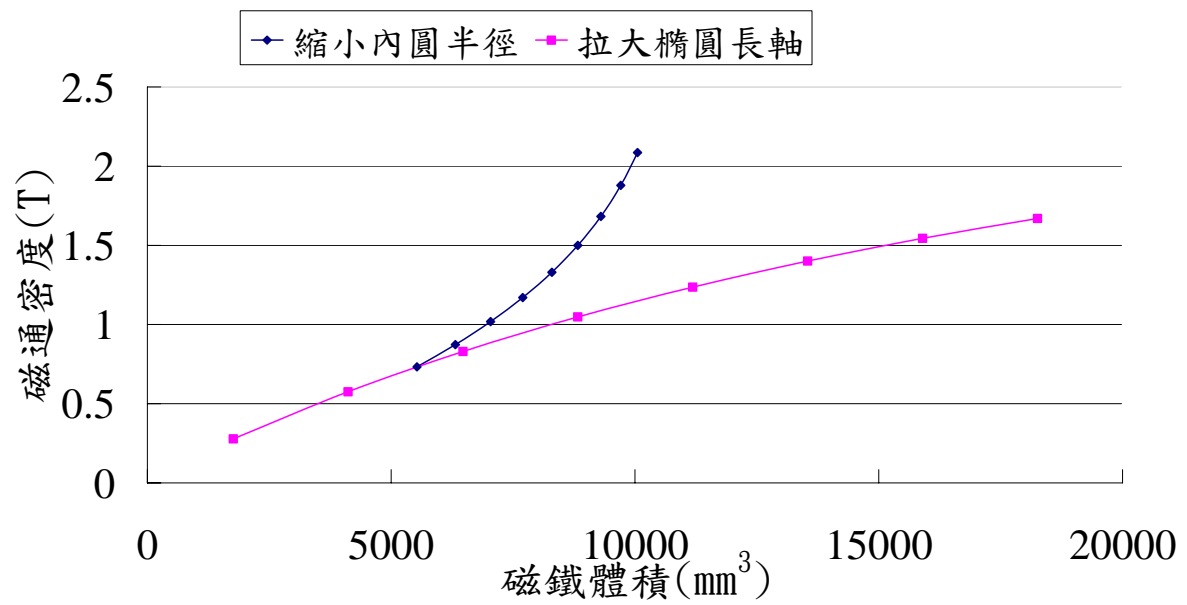


圖 5.10 磁體體積與磁通密度關係圖

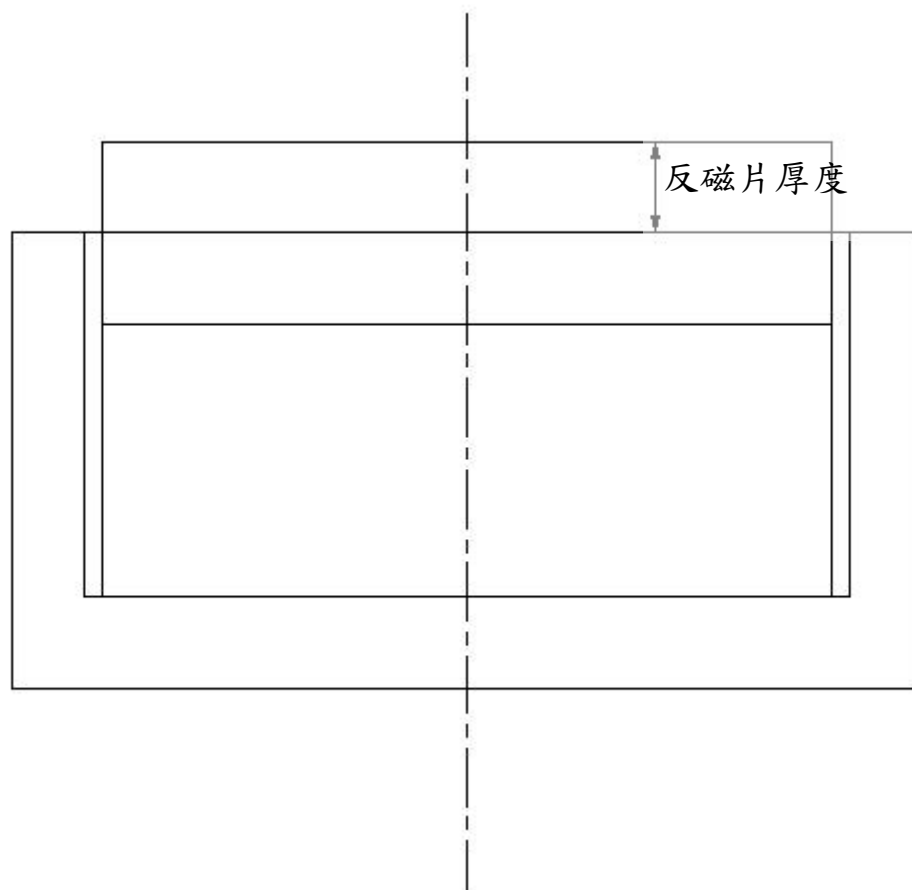


圖 5.11 具反磁片激震器之二維模型

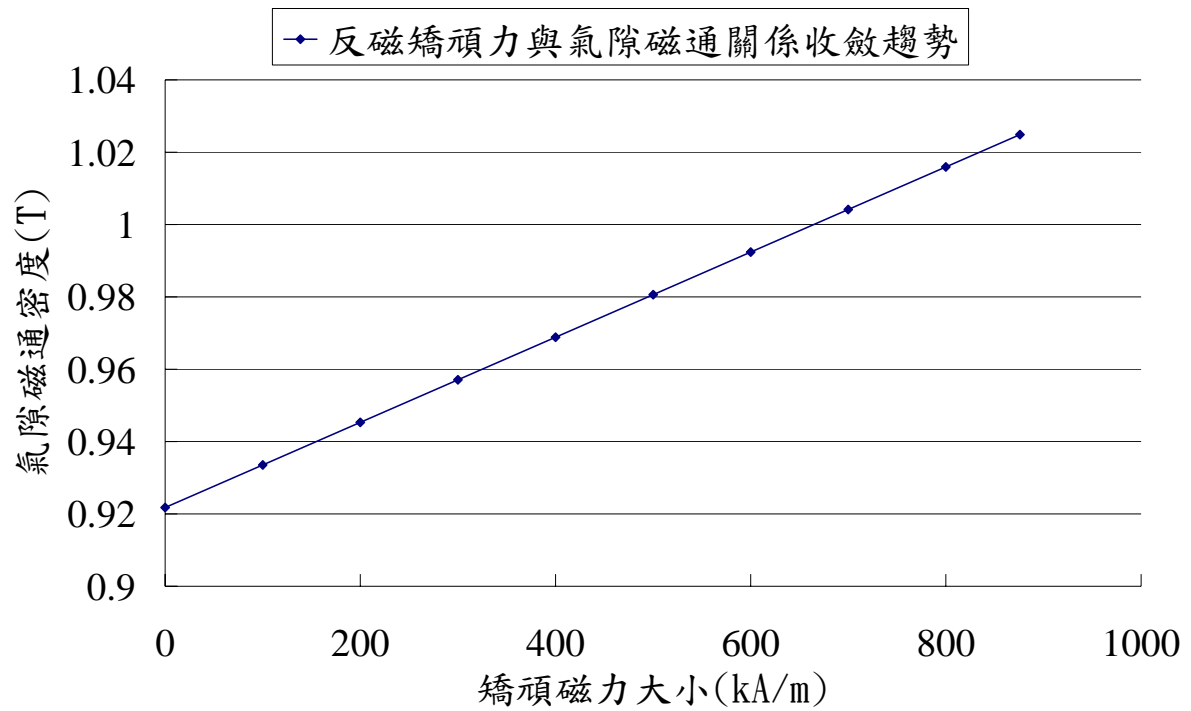


圖 5.12 二維具反磁片模型收斂驗證曲線

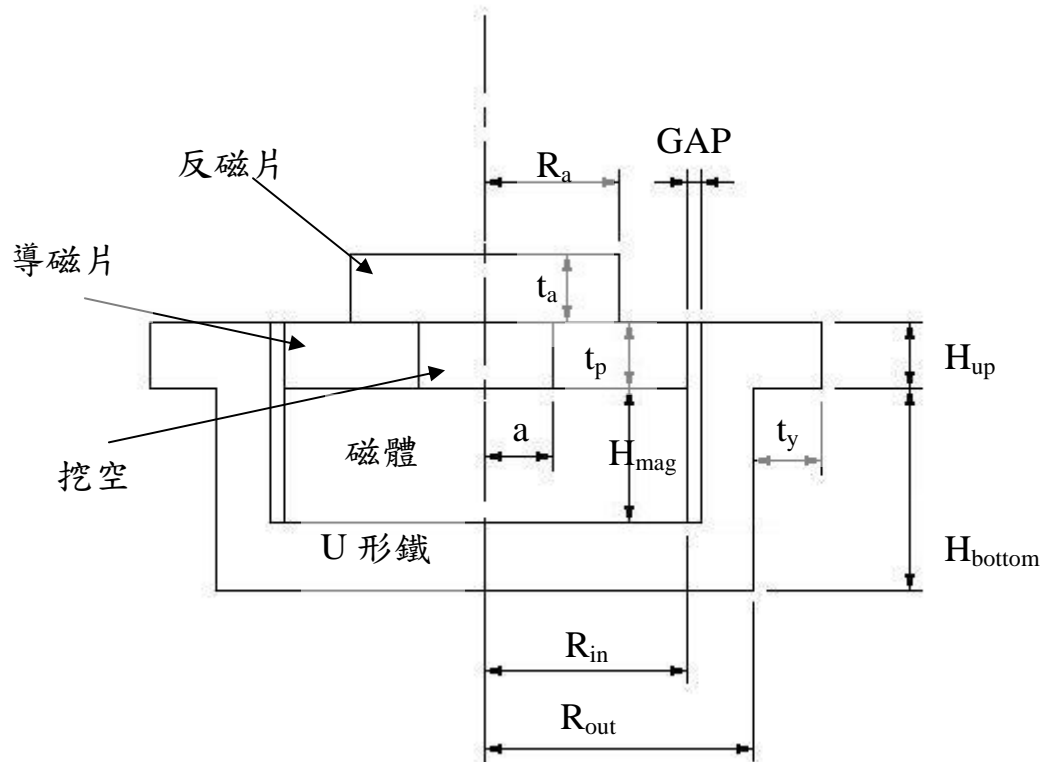


圖 5.13 具反磁激震器尺寸圖

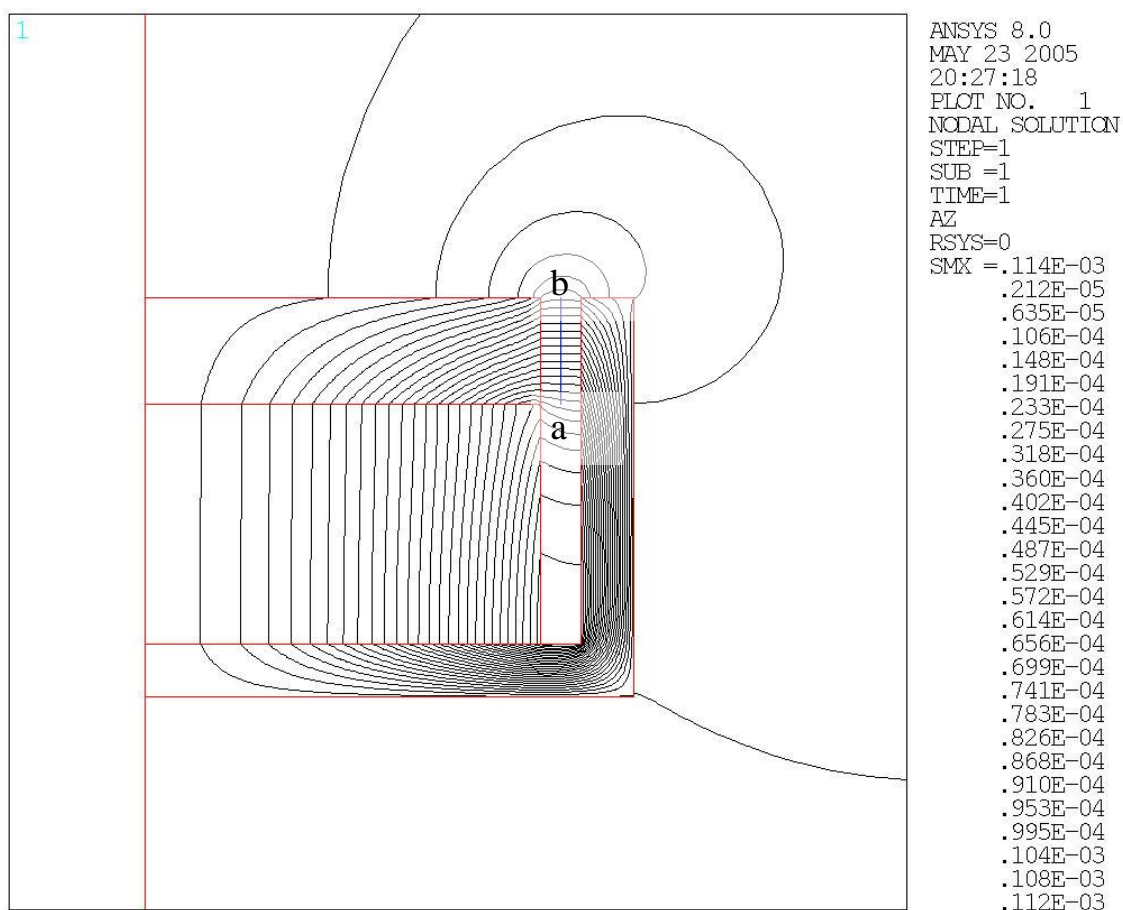


圖 5.14a 基本尺寸磁力線分佈圖

$$B_{avg} = 0.930479524$$

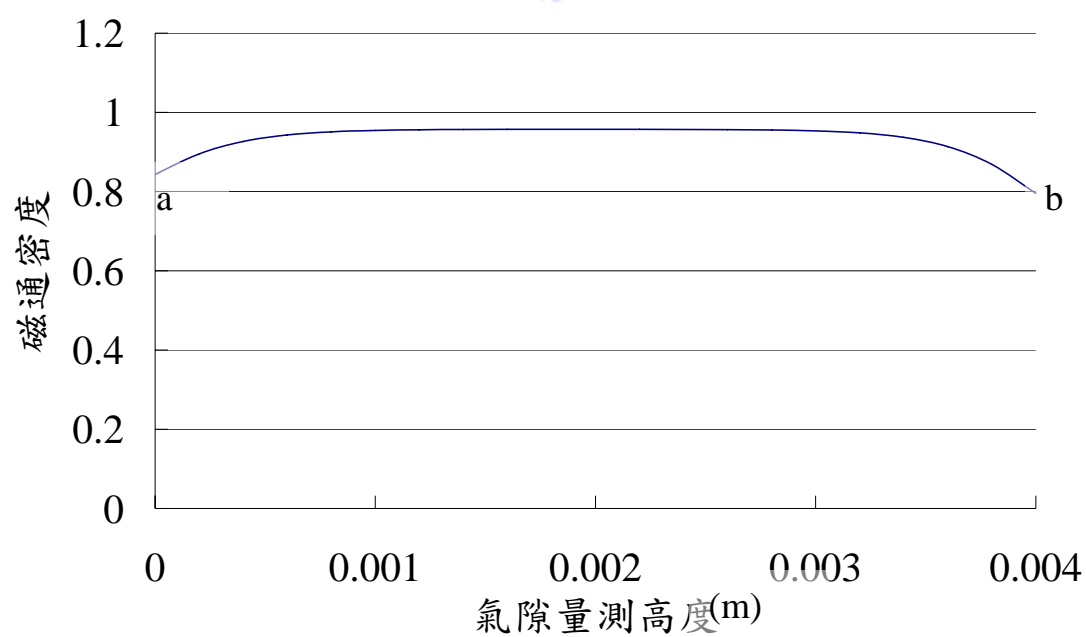


圖 5.14b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖

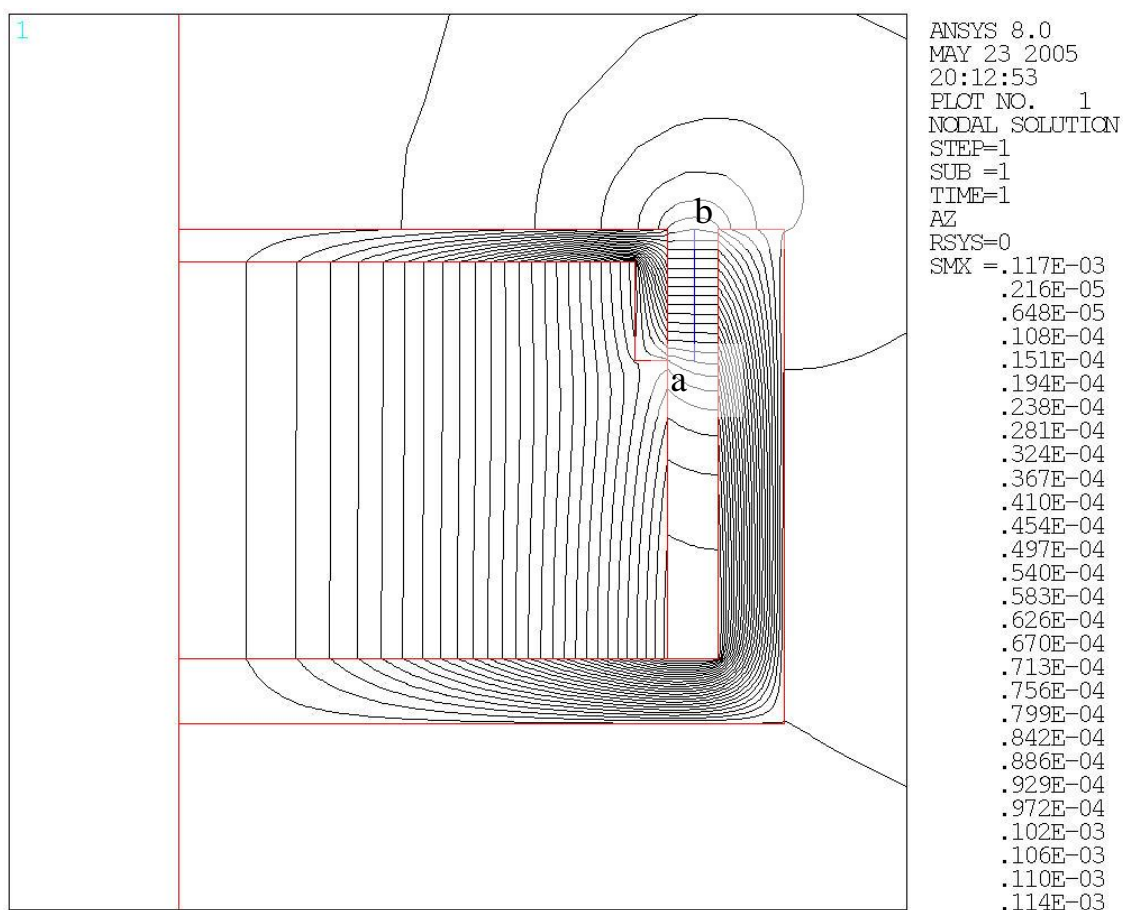


圖 5.15a 蓋子形導磁片磁力線分佈圖

$$B_{avg} = 0.969897143$$

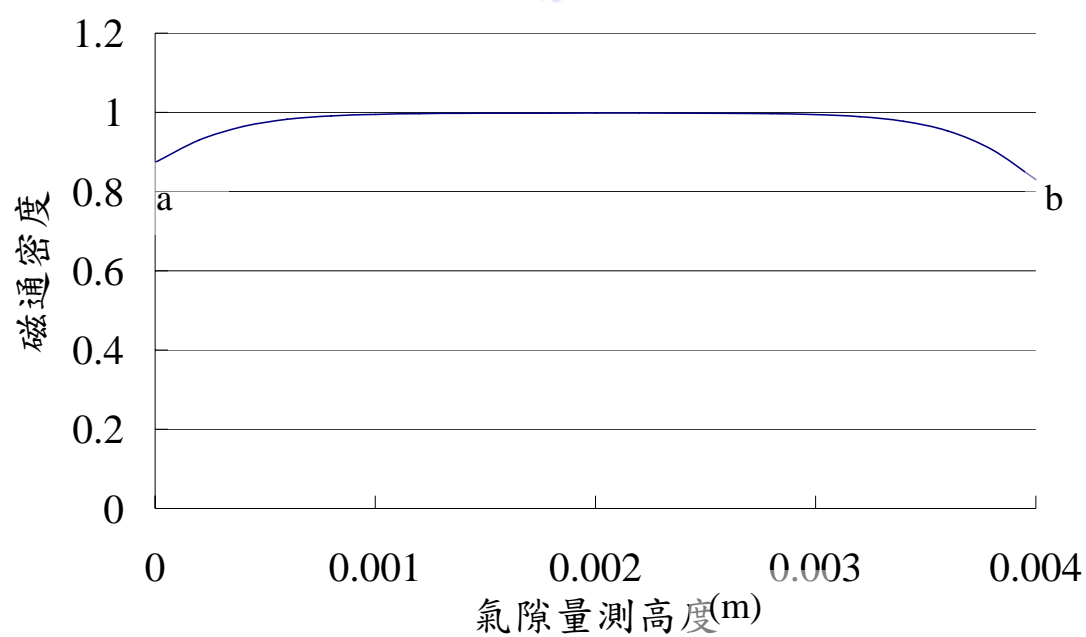


圖 5.15b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖

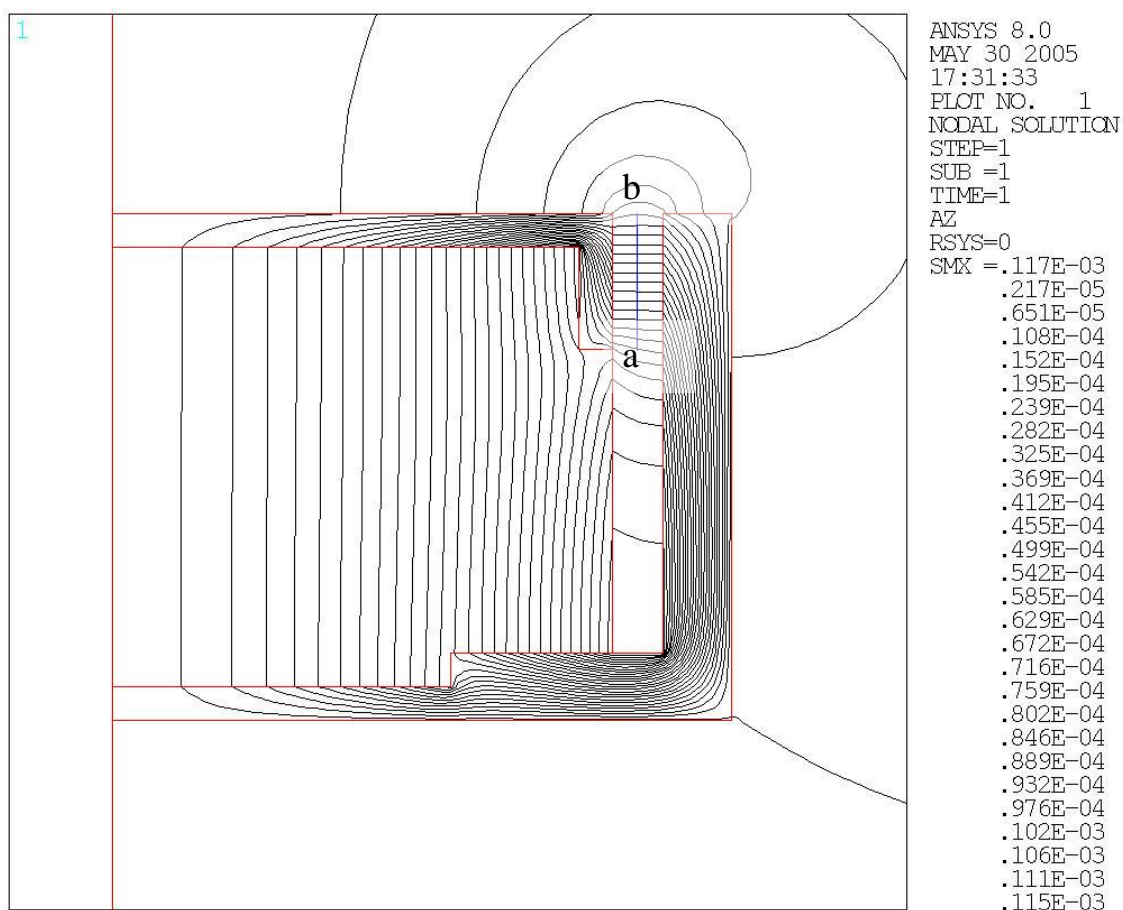


圖 5.16a 組裝不需上膠型磁力線分佈圖

Bavg= 0.972401429

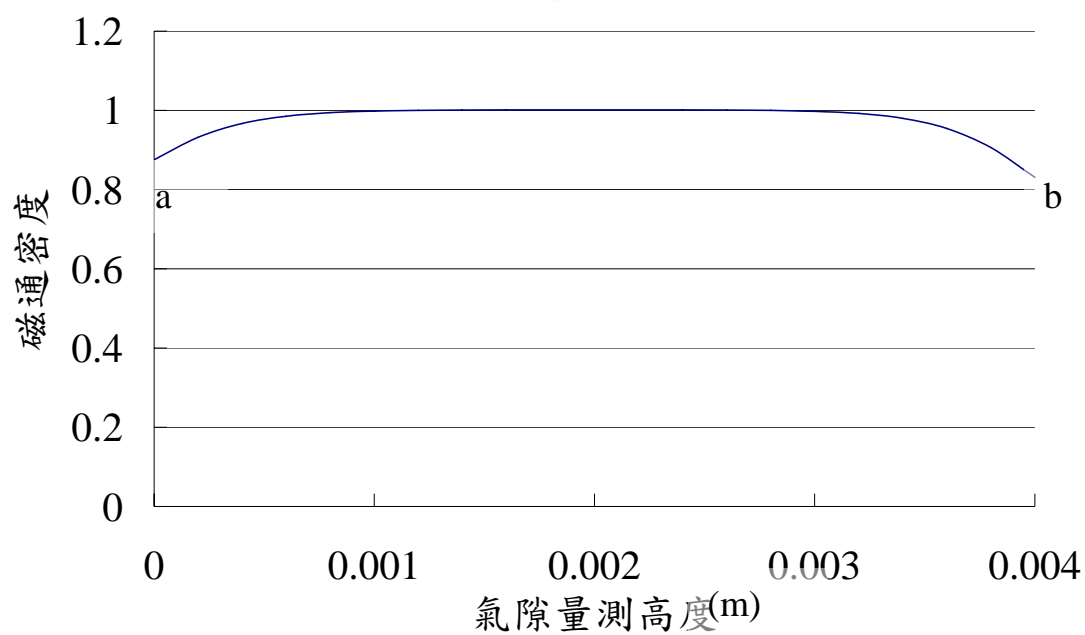


圖 5.16b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖

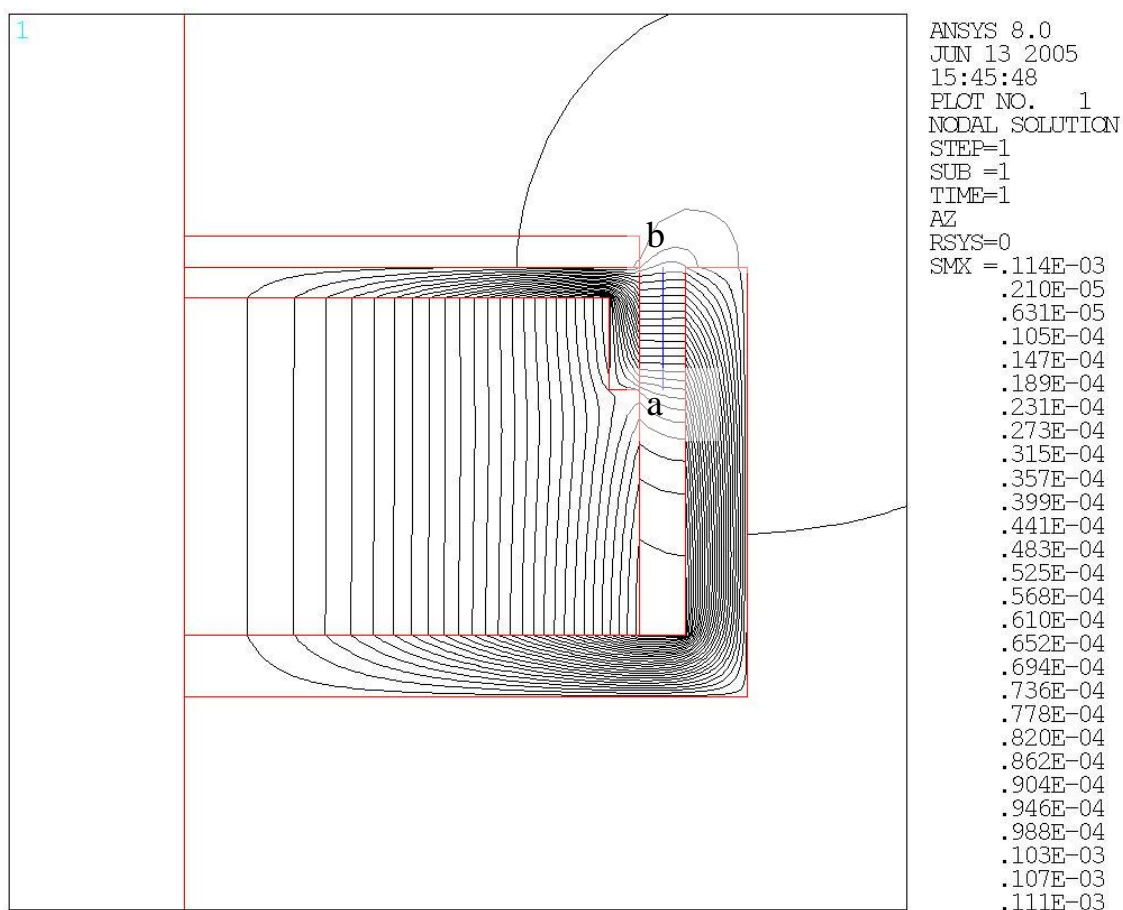


圖 5.17a 厚度 1mm 外反磁片磁力線分佈圖

Bavg= 1.072189048

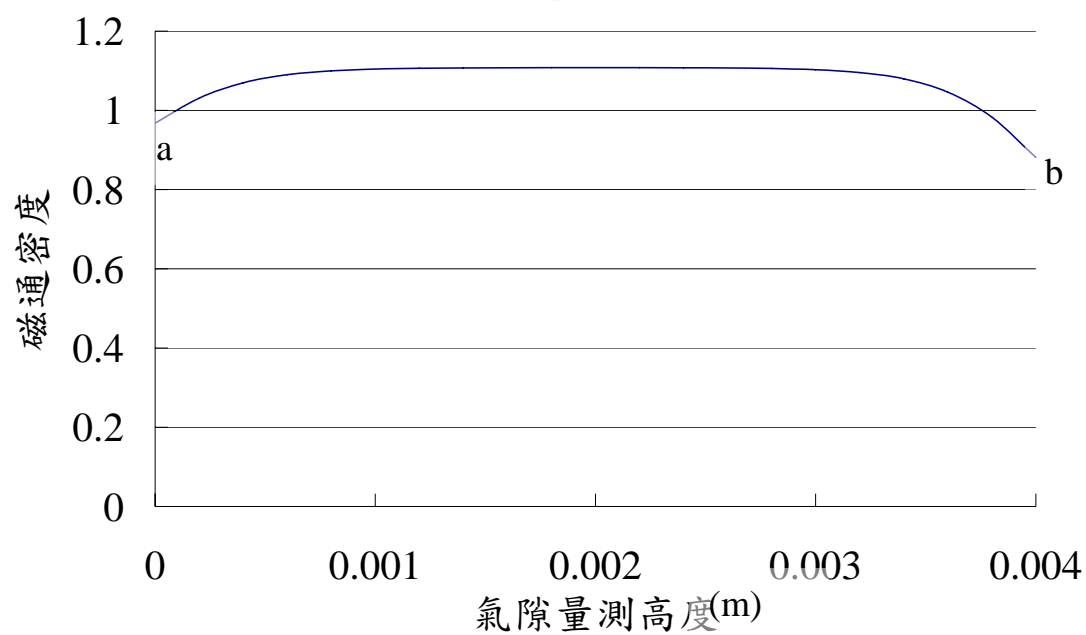


圖 5.17b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖

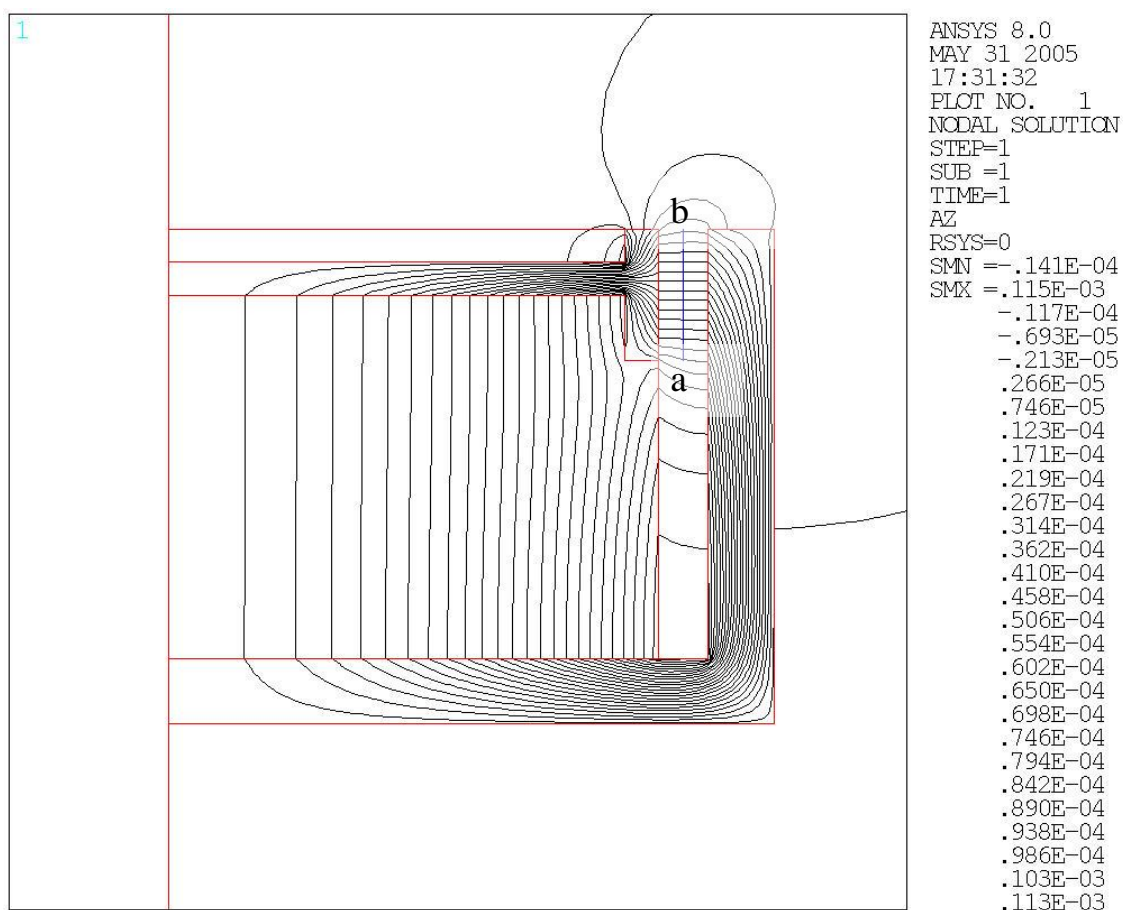


圖 5.18a 厚度 1mm 內嵌反磁片磁力線分佈圖

$$B_{avg} = 1.028677143$$

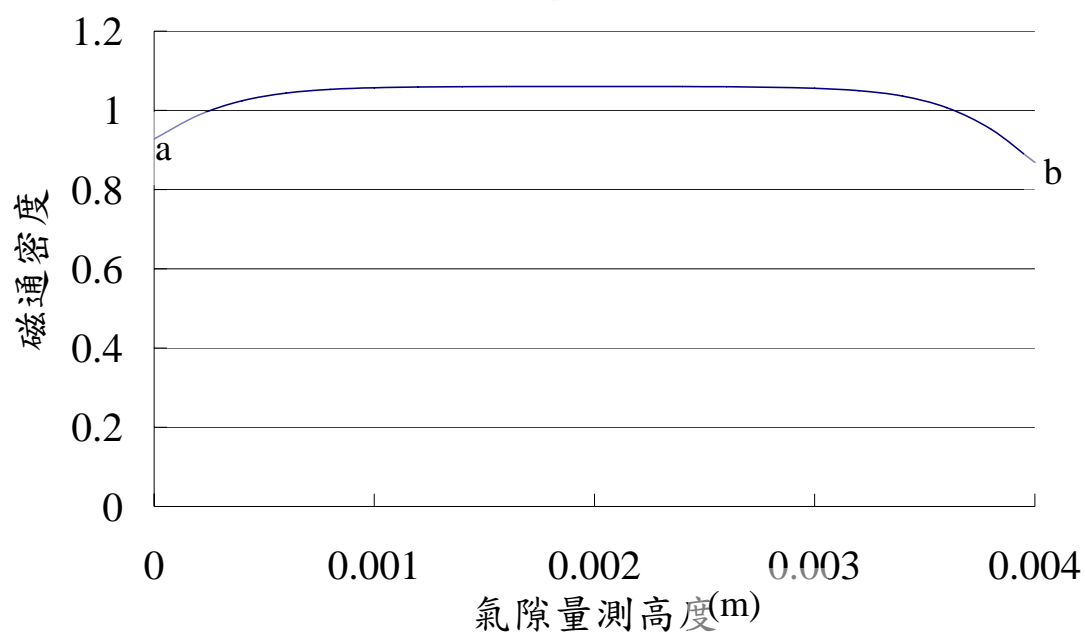


圖 5.18b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖

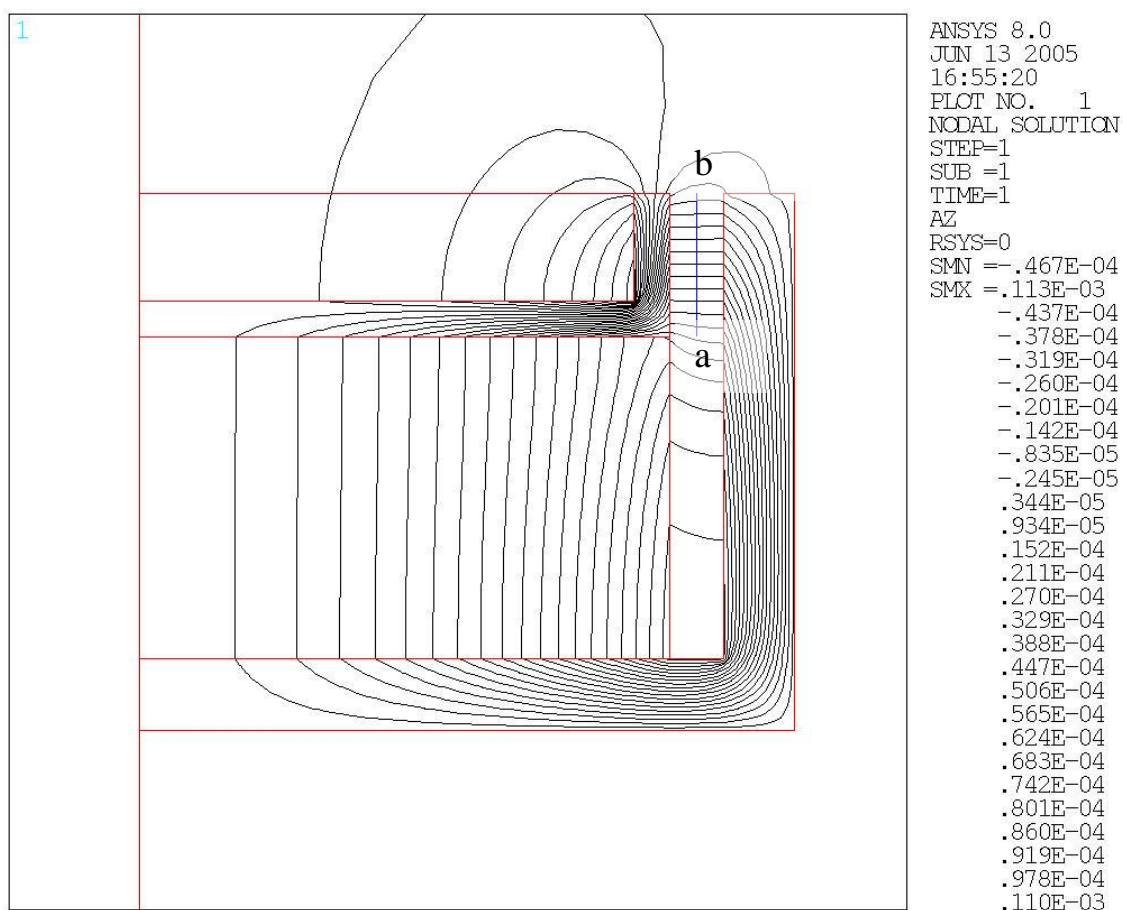


圖 5.19a 厚度 1mm 內嵌反磁片磁力線分佈圖

$$B_{avg} = 1.05941619$$

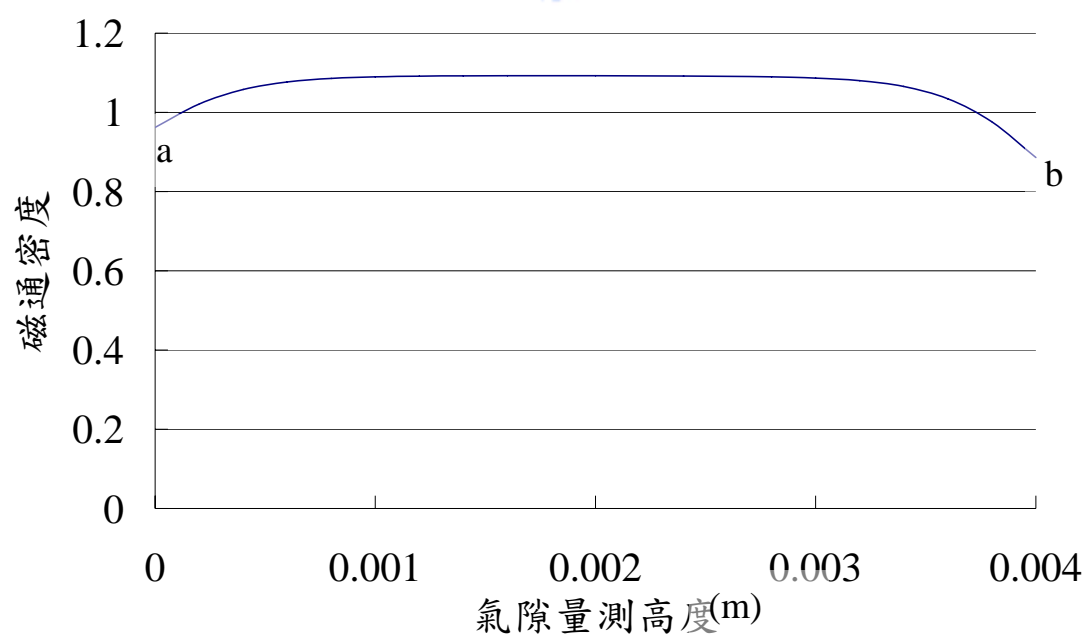


圖 5.19b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖

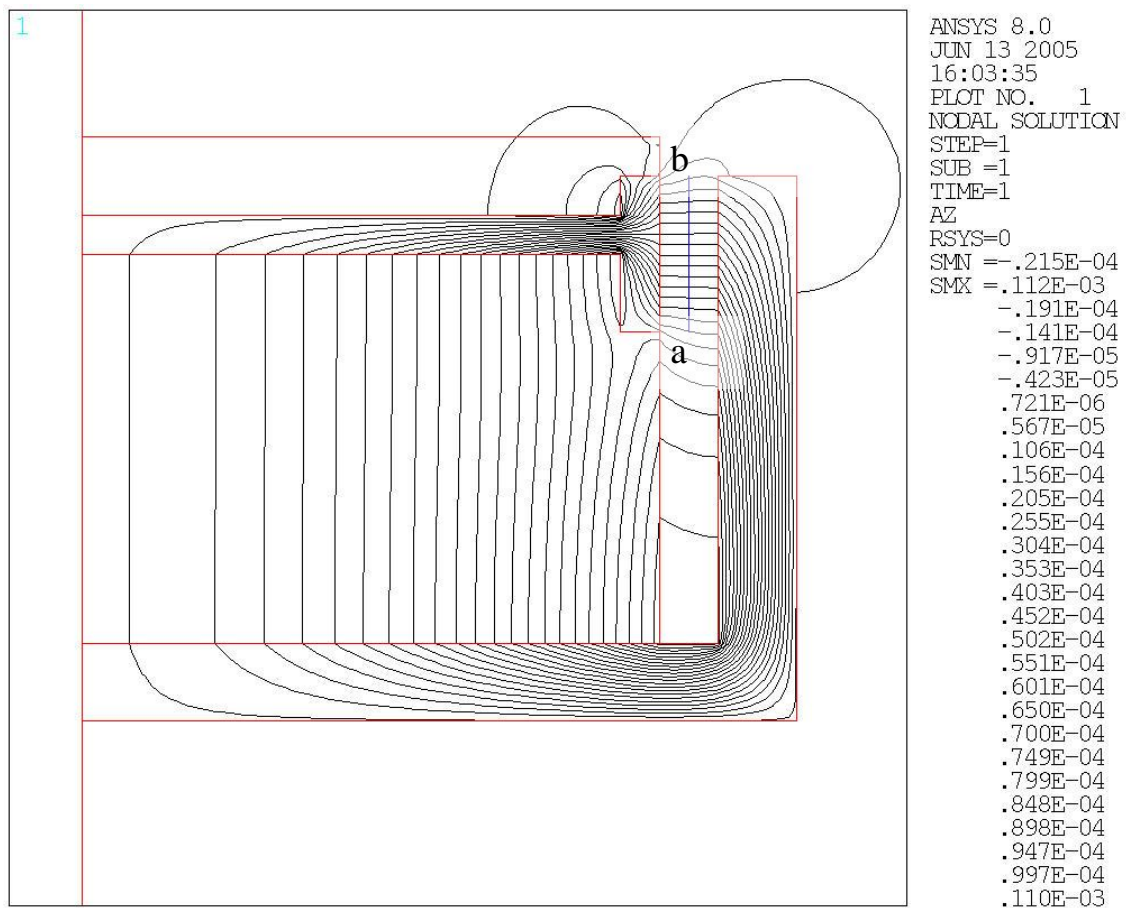


圖 5.20a 瓶塞型反磁片磁力線分佈圖

$$B_{avg} = 1.123193333$$

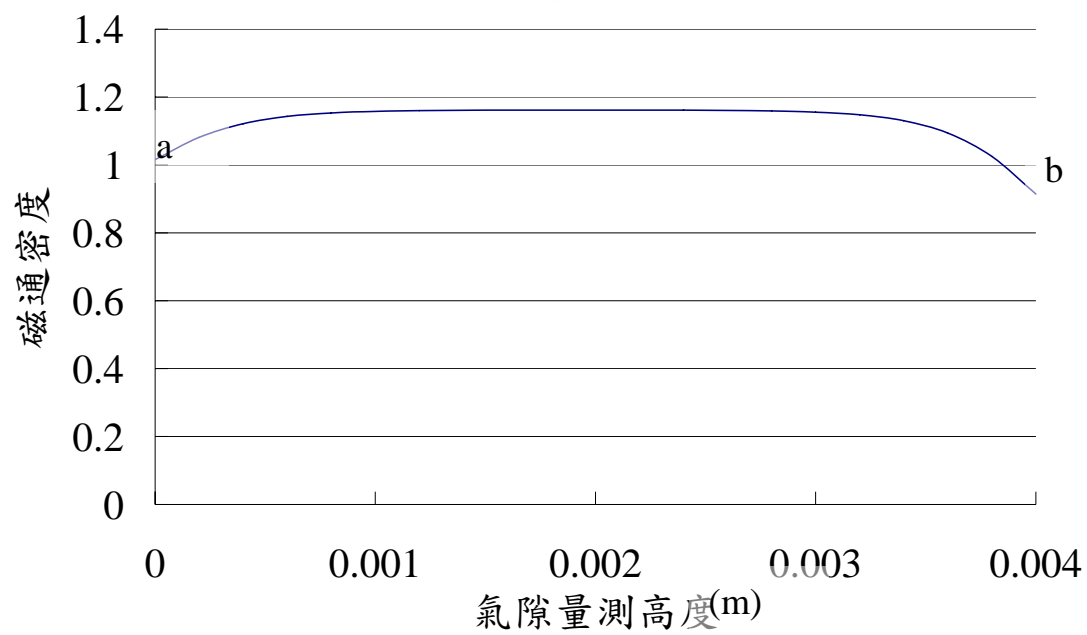


圖 5.20b 氣隙磁通密度厚度方向分佈圖

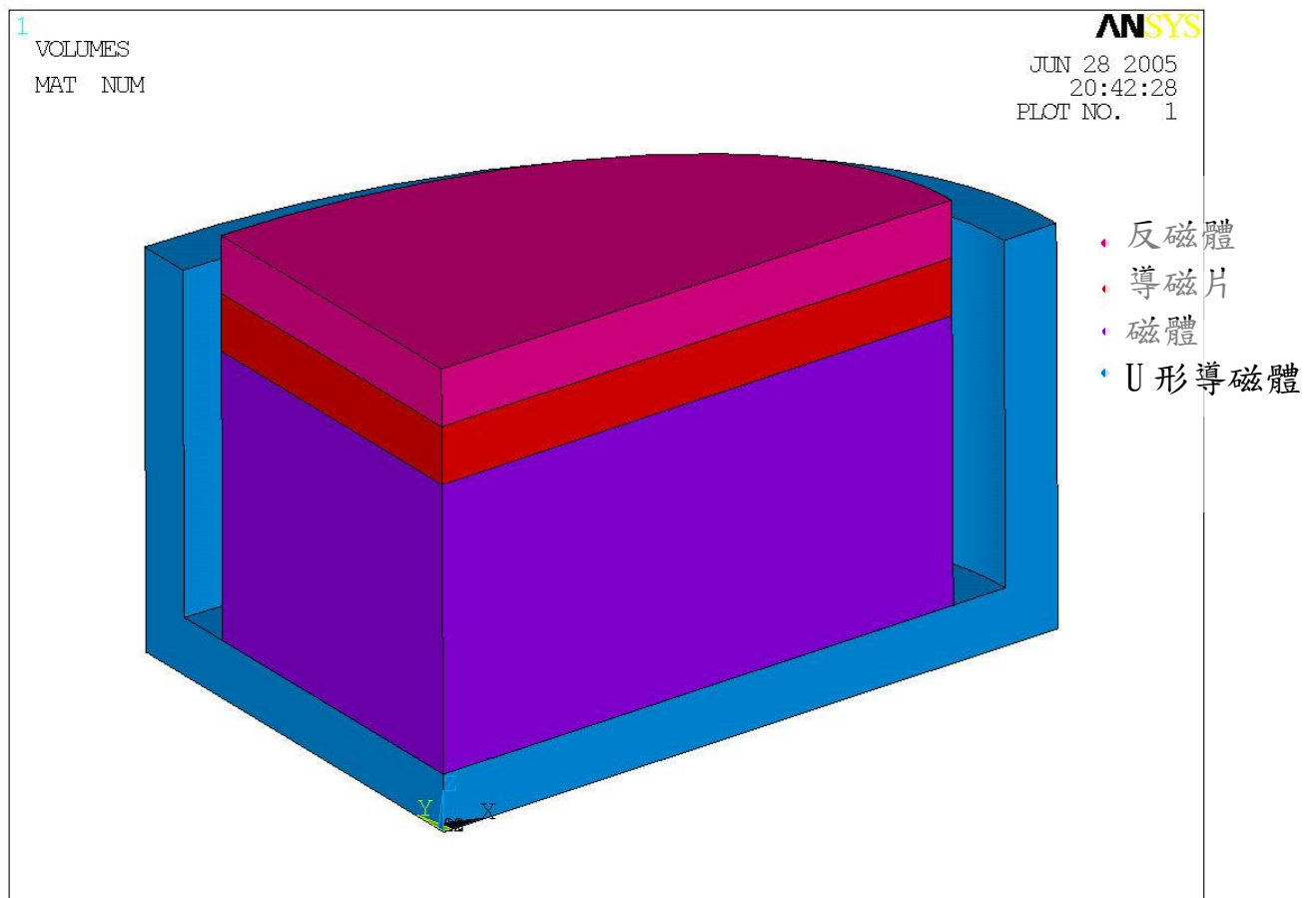


圖 5.21 具反磁片激震器之三維模型

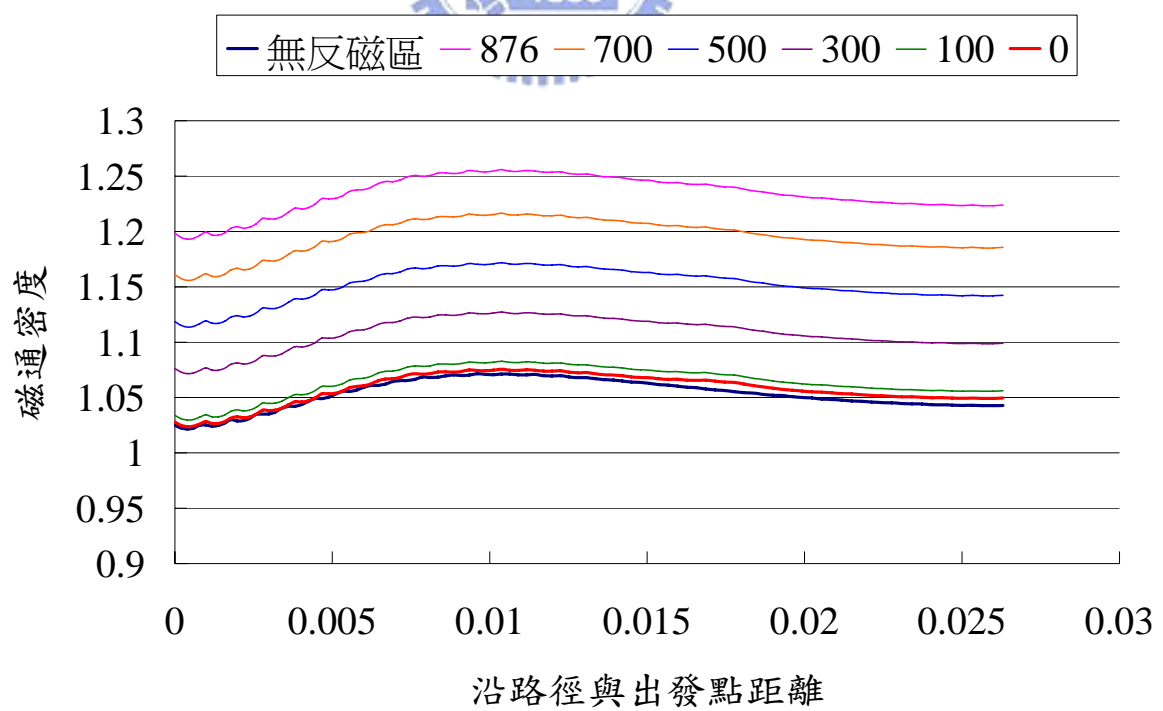


圖 5.22 三維具反磁片模型收斂驗證

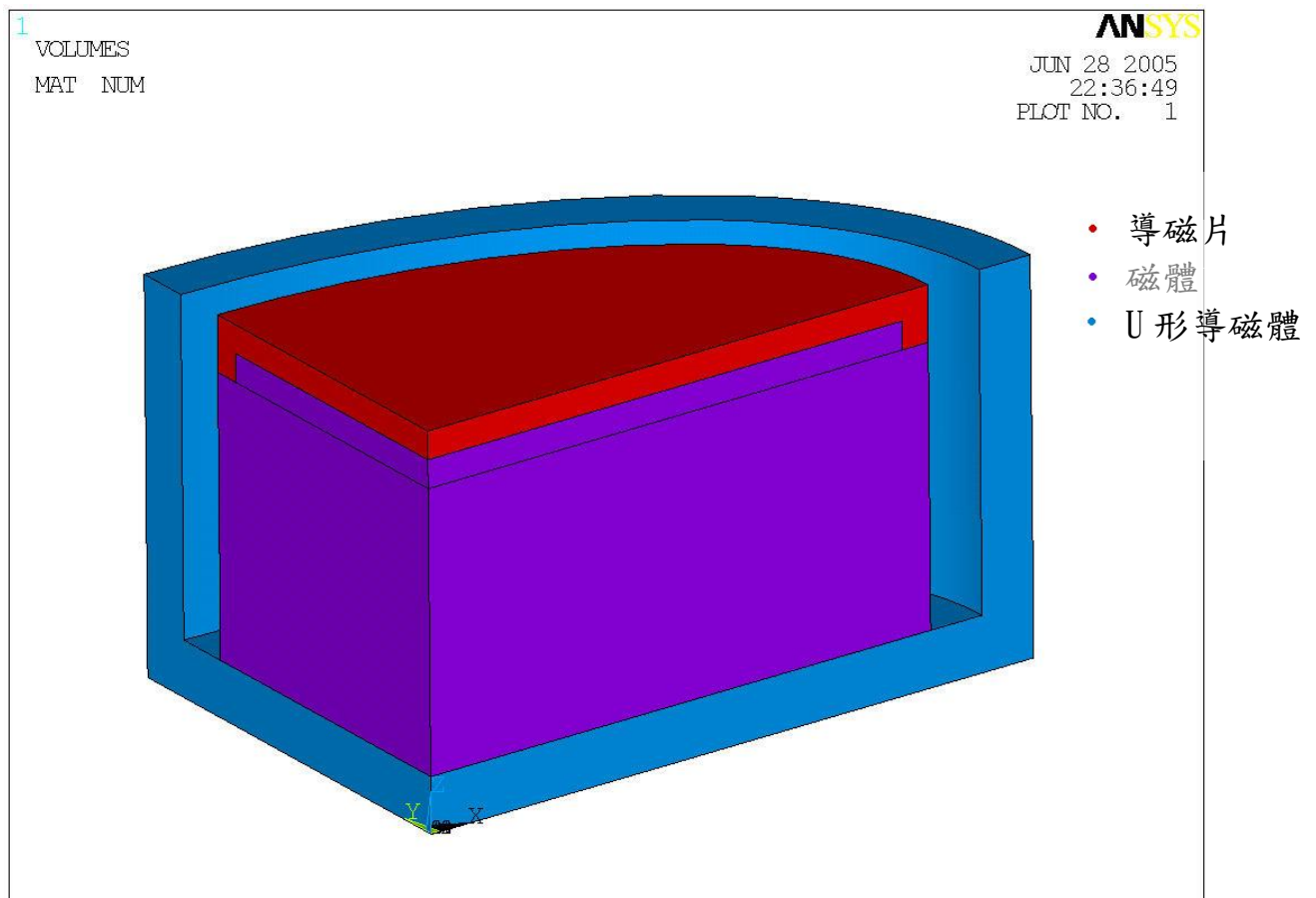


圖 5.23a 蓋子形導磁片模型

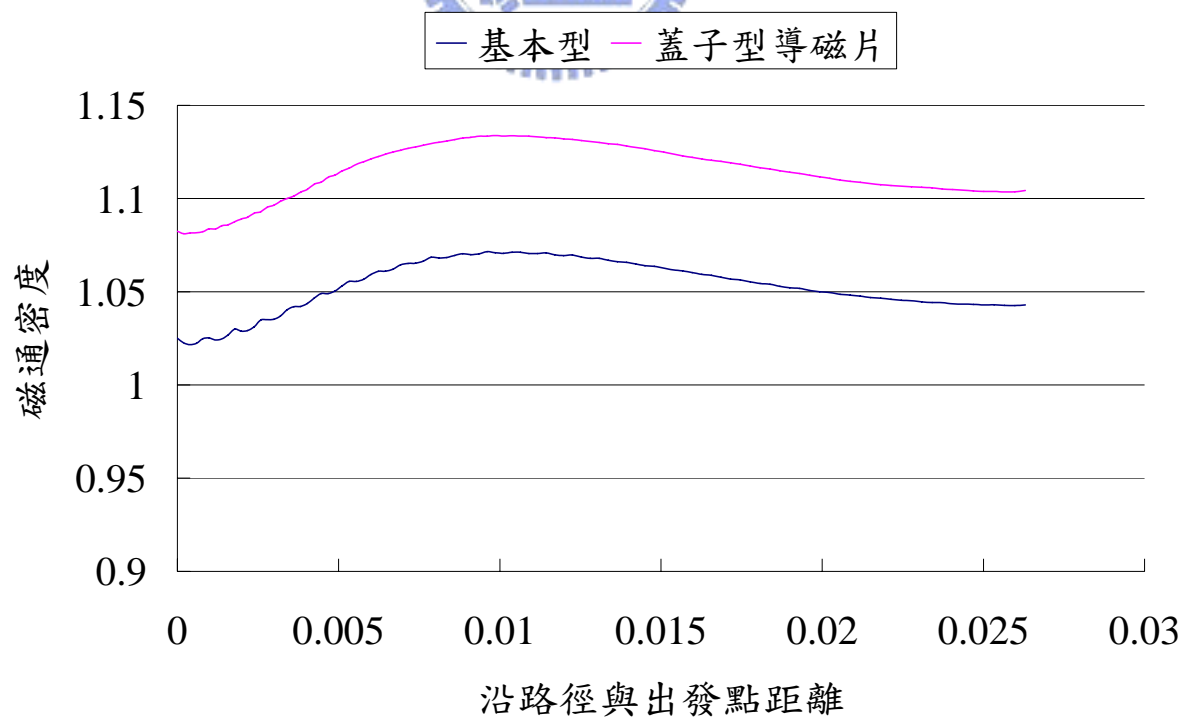


圖 5.23b 蓋子形導磁片磁通密度分佈情形

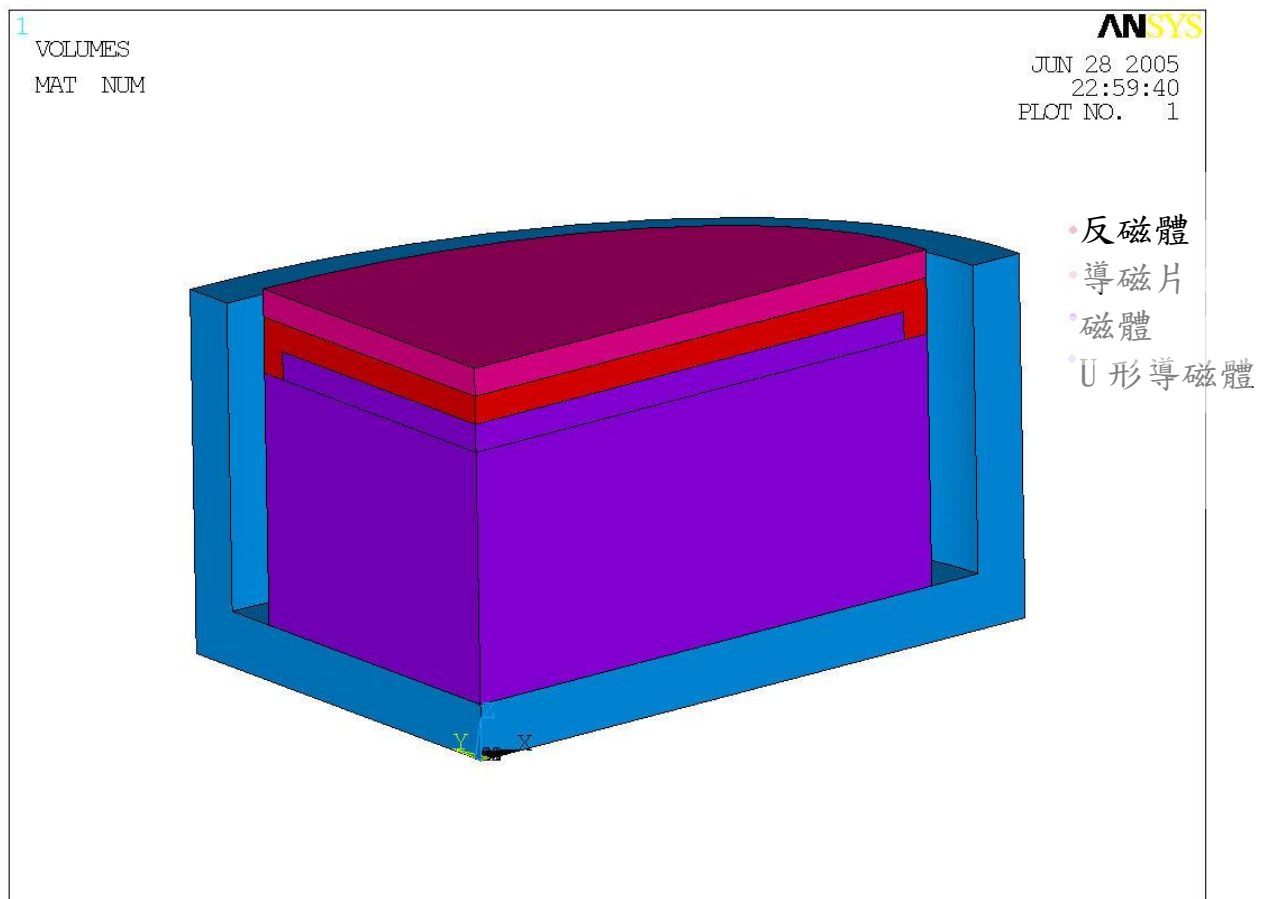


圖 5.24a 厚度 1mm 外反磁片模型

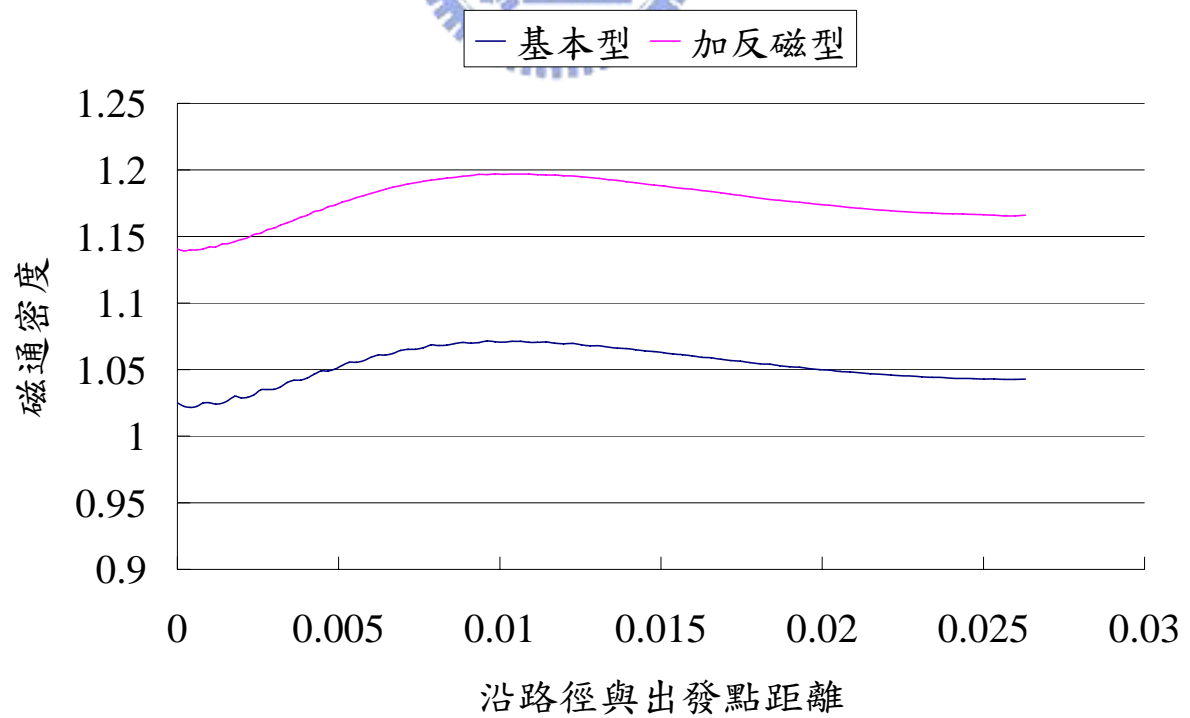


圖 5.24b 厚度 1mm 外反磁片磁通密度分佈情形

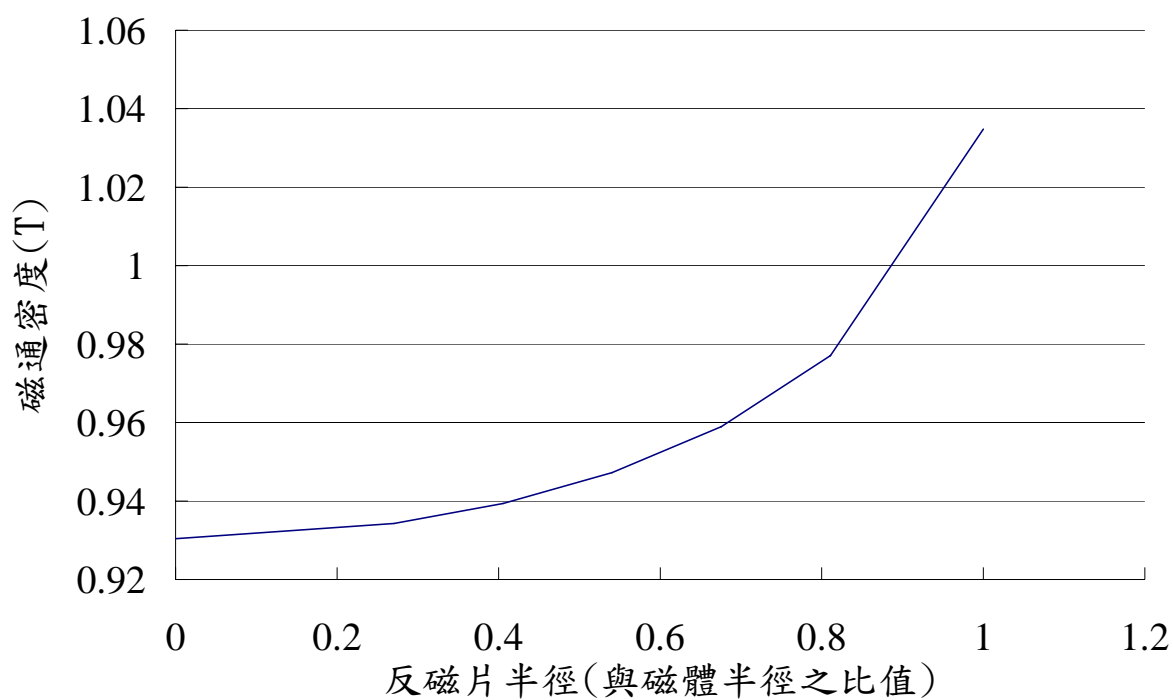


圖 5.25 反磁片半徑對激震器的影響

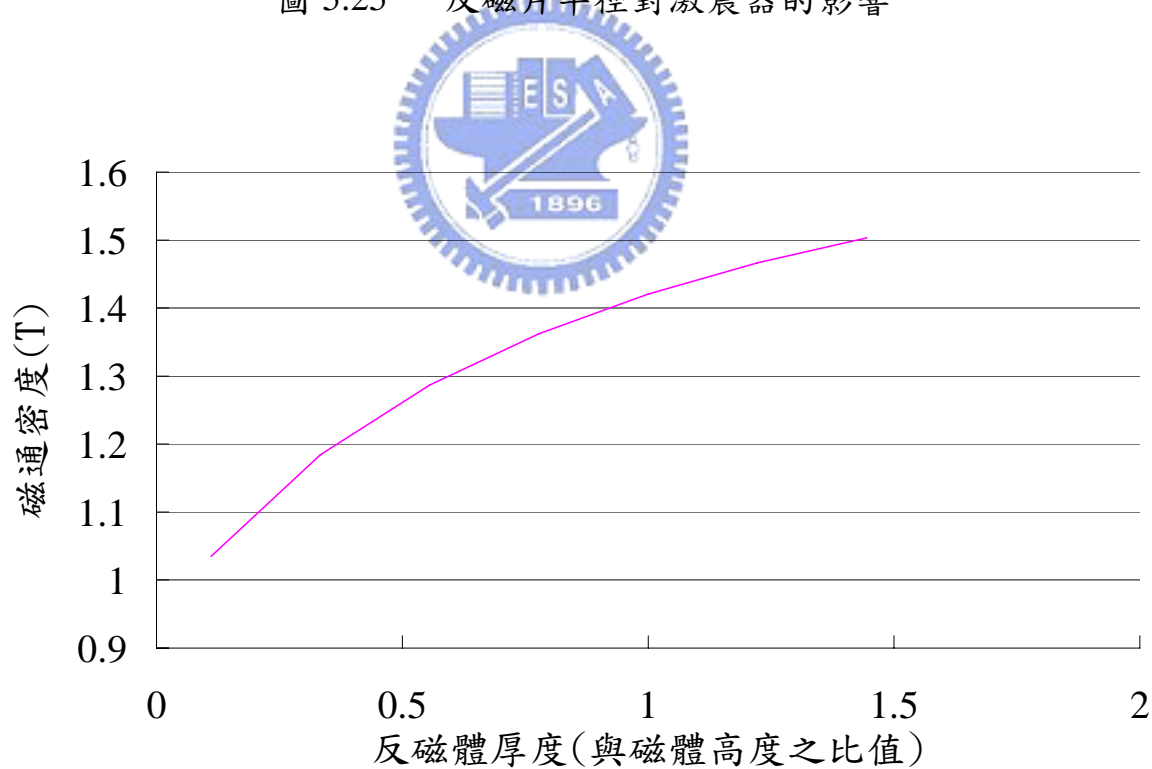


圖 5.26 反磁片厚度對激震器的影響

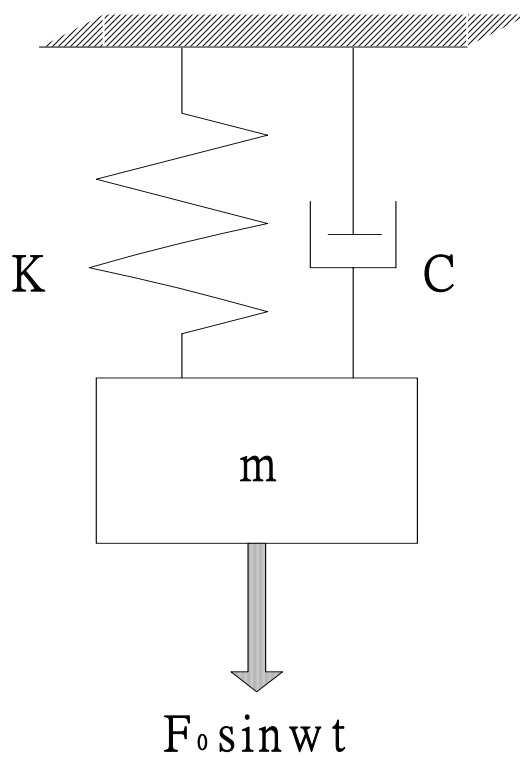


圖 6.1 單一自由度振動響應模型

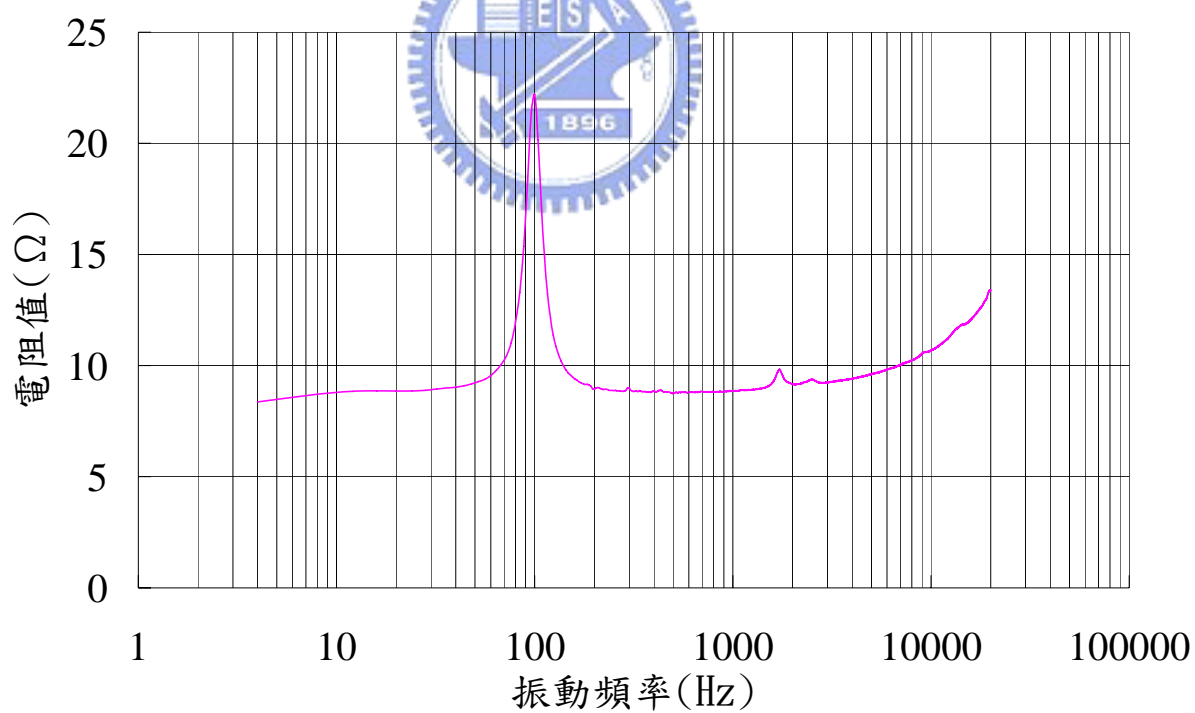


圖 6.2 頻率阻抗曲線

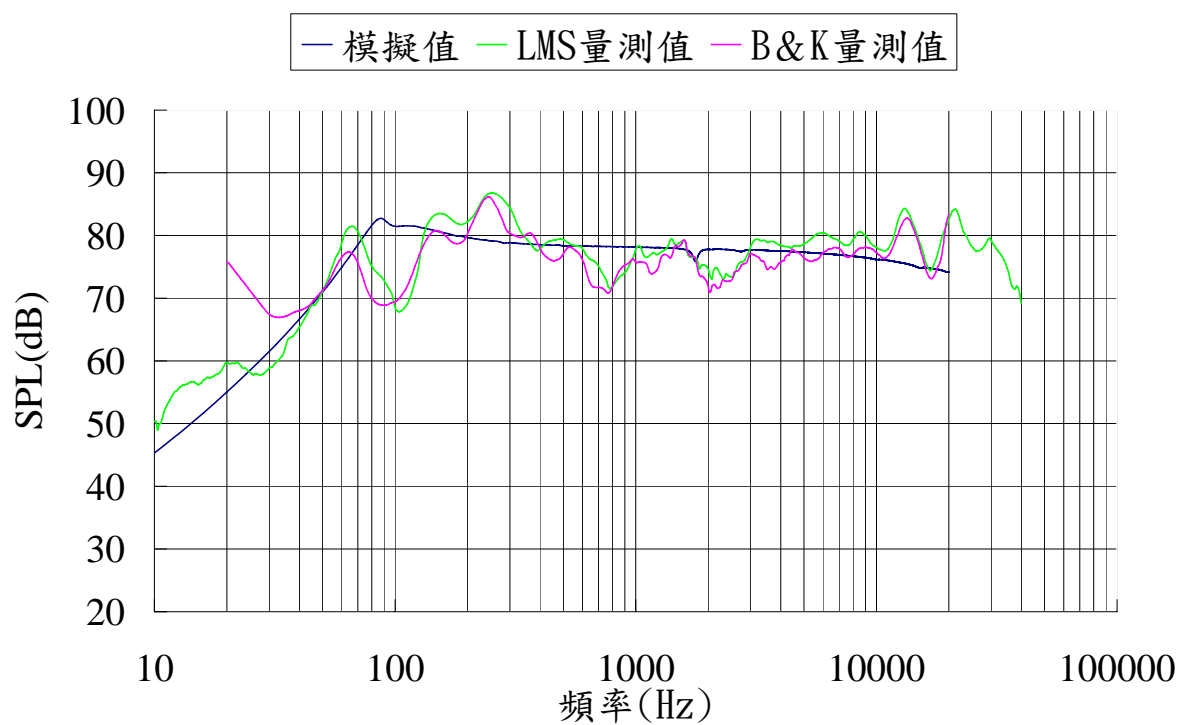


圖 6.3 聲壓曲線

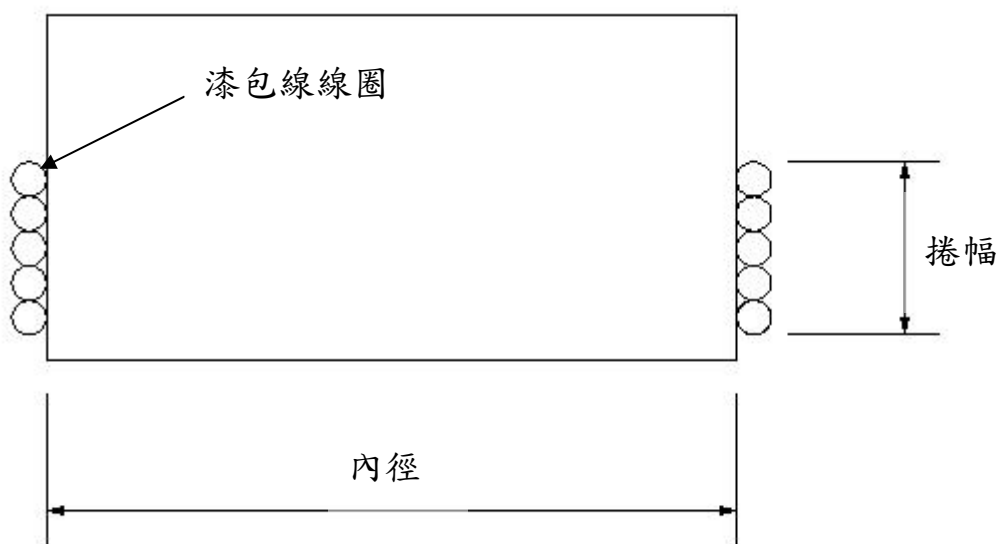


圖 6.4 音圈基本幾何模型

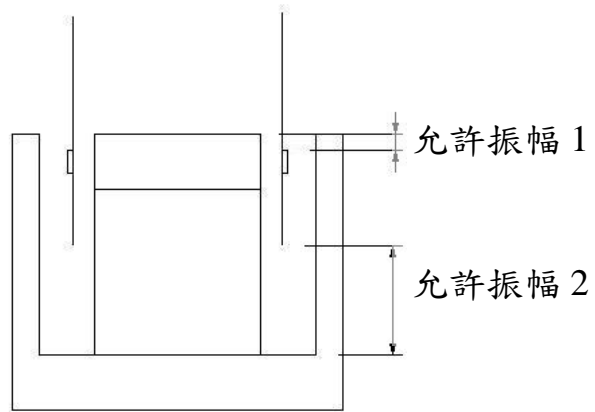


圖 6.5a 捲福高度小於氣隙磁區高度

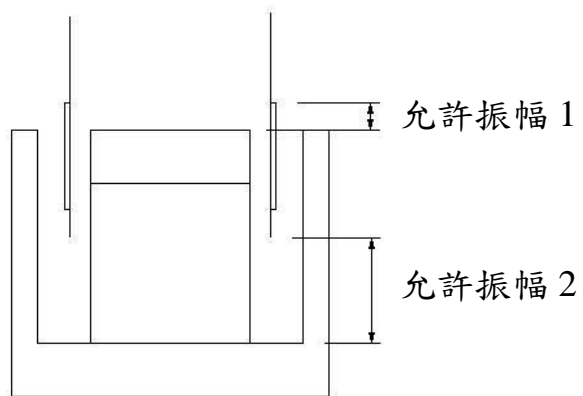


圖 6.5b 捲福高度大於氣隙磁區高度

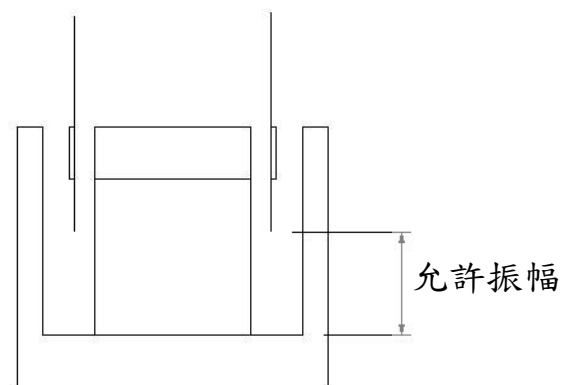


圖 6.5c 捲福高度與氣隙磁區高度相等

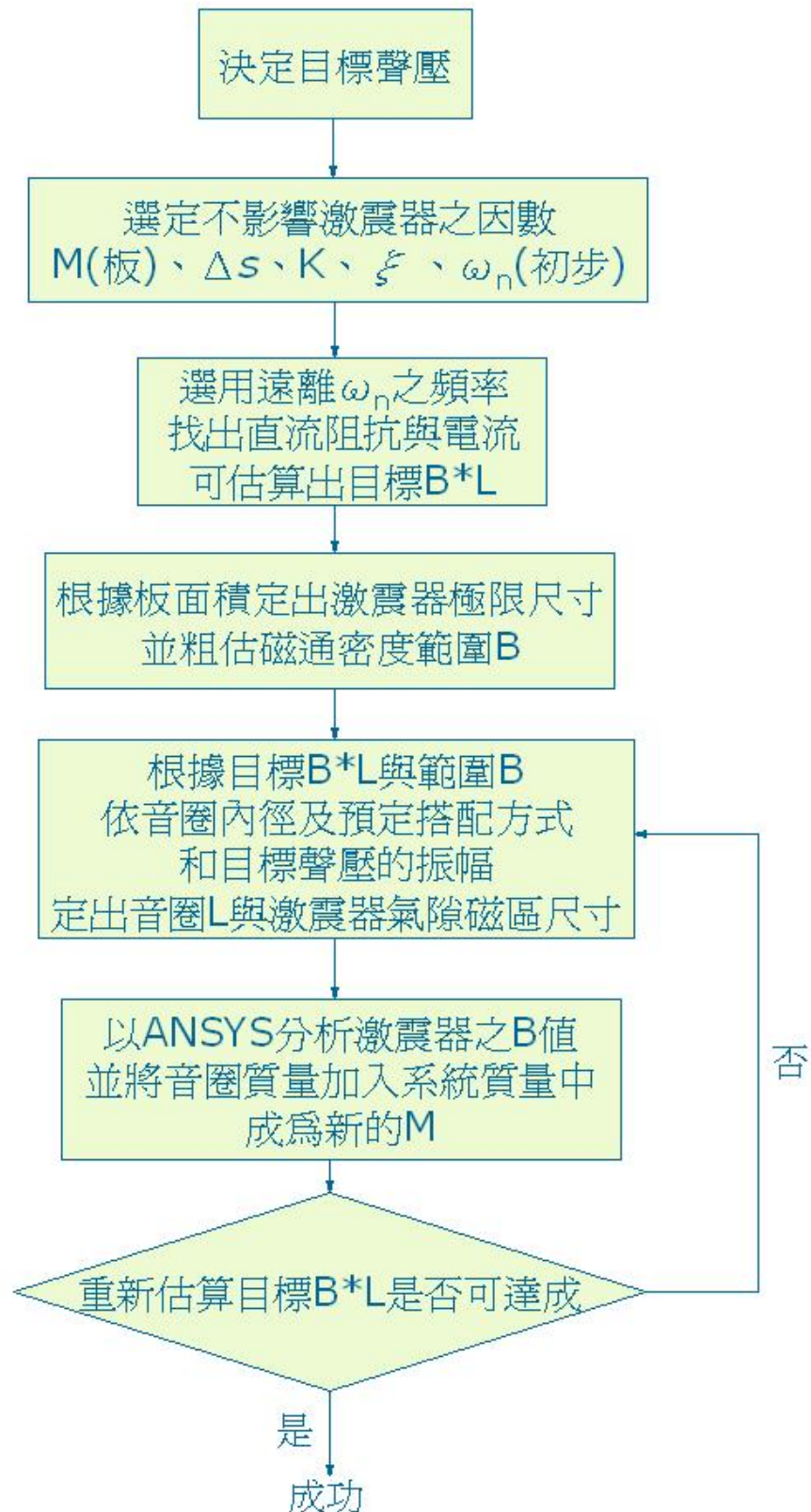


圖 6.6 以目標聲壓搭配周邊考慮激震器與音圈流程