

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 子計畫一：可調曲率環場視聽研發

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2212-E-009-034-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學機械工程研究所

計畫主持人：成維華

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 92年10月8日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 91-2212-E-009-034

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：成維華 交通大學機械工程研究所

## 一、中文摘要

本計畫主要目的是發展一套可變曲率之球面螢幕伺服控制機構，提供總計畫作為混程式可調曲率環場視聽系統之用，在本文中，使用樑撓度 (beam deflection) 分析原理，分析各種不同形式負載作用於具有彈性性質的材料時，所產生的撓度曲線 (deflection curve) (此撓度曲線就是本文所要設計之螢幕圓弧曲面) 與真實圓弧曲線作比較，以找出最近似圓弧曲線之負載型式，做為設計可變曲率之球面螢幕之依據。在此我們使用 LabVIEW 軟體建立動態分析系統，分析七種不同型式且具有對稱性之負載，依其撓度曲線方程式與真實圓弧曲線方程式在不同曲率下做動態模擬比較，以找出誤差最小及最近似圓弧曲線者，做為設計可變曲率球面螢幕之準則。

**關鍵詞：**混程式可調曲率環場視聽系統、撓度

## Abstract

This project is to develop a set of spherical surface screen servo control mechanism

with a variable curvature capable of providing the Master Project for use in the hybrid curvature-adjustable surrounding AV system. In this study, beam deflection analysis theory is used to analyze the application of many types of load to elastic material, and the deflection curve thus produced which is the screen's round arch curve. This curve is compared with a real round arch curve, to determine the loading model which is most similar to that of the round arch curve, as a reference design for a flexible curvature spherical screen. LabVIEW software is used here to establish a dynamic analytic system, according to the deflection curve equation and the real round arch curve equation, under different curvatures. The systems are compared by dynamic simulation; seven different models are analyzed under symmetric load, and the round arch curve with least error is determined, as a guideline for the design of

a flexible curvature spherical screen.

**Keywords:** Hybrid curvature-adjustable surrounding AV system、Deflection

## 二、緣由與目的

目前市售的投影銀幕，依展開方式大略可以分成三種：固定式、下拉式、上拉式三種，一般來說固定式銀幕以高增益形式居多，需要有一個牆面當作投影銀幕，而下拉式銀幕則是一般家庭用戶最常採用的形式，收納狀況最佳。以上三種市售銀幕都是平面式銀幕，大小無法調整，如果用於飛行模擬當作投影銀幕，將無法滿足廣視角要求，因此本計畫主旨就是發展可調曲率螢幕伺服機構系統，此系統也整合了矩陣式平面喇叭，在銀幕上設計音效系統，從銀幕發出聲音，同時，再以陣列訊號處理技術，達到聲束、整形和操控的環場音效，使視聽系統達到影音結合，更具臨場感與包圍感（子計畫一）。

研究計畫之目的：

本計畫主要目的就是完成可調曲率螢幕的設計分析與實作，並配合各個子計畫，完成混成式可調曲率還場視聽系統，提供給飛行模擬裝置的視效、投射場景系統使用，並且也可以提供給一般家庭電影院或是學校的電腦多媒體教學使用，使其更具有臨場感，達到影音結合的高品質境界。

## 三、研究報告內容

當一個具有彈性的薄板材料兩端用支點形成所謂簡支樑，中間若施以各種型式負載時，會產生撓度變形，此變形曲線接近圓弧曲線，當施力放掉時，利用材料本身的彈性會自動恢復材料原來形狀，因此利用此撓度變形觀念，作為分析可變曲率螢幕曲線將是非常有用的，所以在分析

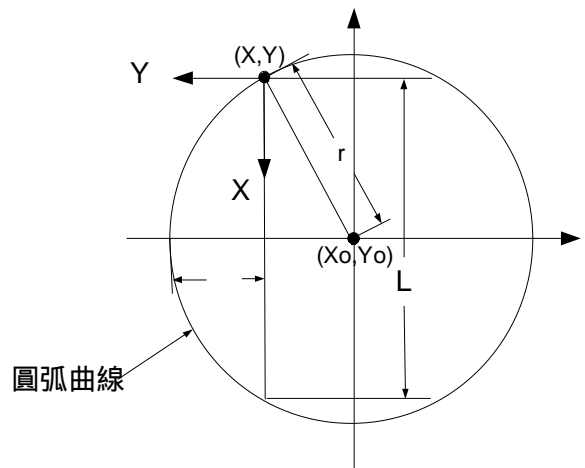
材料上，選擇容易加工又具彈性之磷銅板（厚 2mm 寬 20mm 長 1000mm）作為分析與實作測試之材料。不同型式且具有對稱性的負載，其撓度變形曲線會不同，且圖形會成對稱性，如果使撓度變形曲線愈接近圓弧曲線愈能符合可變曲率螢幕要求，這是本文分析重點。

本文內容分三部分討論分析：

1. 真實圓弧曲線方程式分析。
2. 各類型負載作用於彈性薄板撓度曲線與真實圓弧曲線比較分析。
3. 可變曲率螢幕機構製作分析。

### 1. 真實圓弧曲線方程式分析

為了使撓度曲線與圓弧曲線座標一致，如圖（一）X-Y 座標所示，X-Y 為撓度曲線座標， $X_0-Y_0$  為圓弧曲線座標，把圓弧曲線座標移至撓度曲線座標，則圓弧曲線方程式如下所示：



圖（一）X-Y 座標

$$\left(X - \frac{L}{2}\right)^2 + [Y + (r - \delta)]^2 = r^2$$
$$Y = -(r - \delta) \pm \sqrt{r^2 - (X - 443)^2} \quad \text{--- (1)}$$

(1)式取正值才符合要求，由於螢幕大小 L 不變之下，因此圓弧半徑為

圖(一)單一集中負載

$$\left(\frac{L}{2}\right)^2 + (r - \delta)^2 = r^2$$

$$\Rightarrow r = \frac{\delta^2 + (443)^2}{2\delta}$$

其中螢幕半徑大小  $\frac{L}{2} = 443\text{mm}$

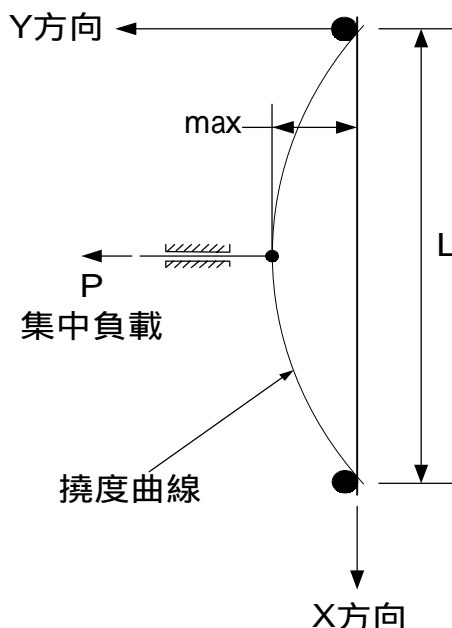
利用(1)式可以變化 X 大小(0~886mm)相對應的 Y 值即可求得,此 Y 值即為相對應 Y 撓度曲線之真實圓弧大小。

## 2. 各類型負載作用於彈性薄板撓度曲線與真實圓弧曲線比較分析

如圖(一)所示,彈性薄板構成之簡支樑,中間位置承受集中負載作用時,彈性薄板將產生撓度變形,其撓度曲線方程式可由(1)方程式及邊界條件求得,位移大小可藉由改變集中負載大小來改變。

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{-M(X)}{EI} \quad \text{-----(1)}$$

- y :撓度方程式
- M(X) :彎曲力矩
- E :彈性係數
- I :慣性矩



利用此撓度變形方程式與真實圓弧方程式做一比較,當位移大小從 0mm 至 180mm 所產生不同曲率半徑下的撓度曲線與同樣位移大小從 0mm 至 180mm 所產生的圓弧曲線做動態模擬比較,以求出最大誤差。在此理論基礎下,我們推導分析七種不同型式且具有對稱性之負載作用於簡支樑所產生之撓度方程式與真實圓弧方程式作一比較,以求得最近似圓弧曲線,此七種負載型式為:

- 單一集中負載
- 兩個集中負載
- 正弦均佈負載
- 均佈負載
- 由兩端至中點遞增之均佈負載
- 由兩端至中點遞減之均佈負載
- 兩端彎曲力矩負載

### 分析結果:

七種不同型式負載的撓度方程式與最大撓度如表(一)所示,我們使用 LabVIEW 軟體來發展動態模擬分析,依撓度方程式與圓弧方程式,在不同之位移大小之下做動態模擬比較,如表(二)所示,在位移最大時( $\delta = 180\text{mm}$ )撓度曲線與真實圓弧最大誤差大小與位置,在這七種不同型式負載中,我們可以從動態模擬中瞭解到撓度方程式與圓弧方程式最小誤差的負載型式為兩集中負荷,它與圓弧曲線最近似,而且在實際製作上也不困難,因此選用兩集中負載作用於樑的兩側距離兩側邊 50mm 時,最大誤差發生在距離 x 軸 112mm 地方將近有 7.85mm 的誤差,當兩集中負載越靠近兩側時,誤差越小,但是力的作用點越接近兩側所需力矩越大,動力要求也越大,實際製作上也困難,因此,兩集中負載作用於兩側一定要有距離。

在七種不同型式負載中,只有兩集中負載型式產生的撓度曲線與圓弧曲線最

近似，製作上較容易。在模擬過程中另一種力的型式-兩彎曲力矩作用於兩側所產生的撓度曲線與圓弧曲線比兩集中負載型式來的誤差更小、更為近似圓弧曲線，但在製作上非常困難，因此不予考慮。

### 3. 可變曲率螢幕機構製作分析

根據上面分析結果，在此製作了兩集中負載作用於兩側的原型機構，此可調曲率螢幕由 4 支彈性薄板(長 1000mm 寬 20mm 厚 2mm)所組成，材質選用具有彈性又容易加工之磷青銅(彈性係數=11000kgf/mm<sup>2</sup>)，4 支彈性薄板中間使用拉丁鉚接，形成星狀行的網面，兩集中負載作用的地方用一圓環與四隻彈性薄板共八個點用鉚接方式接合固定，圓環部分使用齒條與圓棒連接，並製作一個由圓棒直徑為 10mm 所滾製完成直徑為 886mm 的大圓，做為 4 支彈性薄板的支撐點。

連接在圓環中間的齒條圓棒透過步進馬達軸上的小齒輪驅動，使 4 支彈性薄板產生撓度變形，此 4 支彈性薄板所產生撓度變形，即為可調曲率螢幕，在 4 支彈性薄板所構成的撓度曲面上黏上具有伸展性的彈性布，即為螢幕。

### 三. 結論

從上述分析結果得知，兩個相等大小集中負載作用於彈性薄板兩側所得撓度

曲線比其它六種不同型式負載作用於彈性薄板所產生的誤差最小、更近似圓弧曲線，雖然誤差最小者負載型式為兩彎曲力矩作用於兩側端點，但製作上困難、複雜，因此不予考慮。在機構設計上，只用四支彈性薄板，事實上可以再增加彈性薄板支數，這樣構成的曲面會較接近圓弧曲面，但相對的機構複雜度增加。

### 四. 參考文獻

- [1] Science Applications International Corporation, An improved Design for STRETCHED-MEMBRANE Heliostats, SAND89 - 7027 (Albuquerque Sandia National Laboratories, June.1988)。
- [2] Beninga, K., Davenport, R., and Sandubrae, J. Selection and Design of a Stretched-Membrane Heliostat for Today's Market, SAND89-7040, (Albuquerque Sandia National Laboratories, January.1990)。
- [3] Edward Angel, "COMPUTER GRAPHICS", Addison-Wesley, (1990)。
- [4] Francis S. Hill, Jr. "COMPUTER GRAPHICS", Macmillan, (1990)。
- [5] Ferdinand P. Beer & E. Russell Johnston Jr. "Mechanics of Materials, 2/E"。
- [6] 黃廷合, 洪榮哲, 機械設計。
- [7] G Programming Reference Manual.

表 (一)

| 負載型式   | 撓度方程式   | 最大撓度                          |
|--------|---|-------------------------------|
| 單一集中負載 | $y = \frac{px}{12 EI} \left( \frac{3}{4} L^2 - X^2 \right)$ $\text{for } (0 \leq x \leq \frac{L}{2})$ $y = \frac{p(L-X)}{12 EI} \left[ \frac{3}{4} L^2 - (L-X)^2 \right]$ $\text{for } (0 \leq x \leq \frac{L}{2})$ | $\delta = \frac{PL^3}{48 EI}$ |
|        | $y = \frac{px}{6 EI} (3aL - 3a^2 - x^2)$  |                               |

|               |  |   |
|---------------|--|---|
| 兩個集中負載        | $\text{for } (0 \leq x \leq a)$ $y = \frac{pa}{6EI}(3ax - 3x^2 - a^2)$ $\text{for } (a \leq x \leq L - a)$ $y = \frac{p(L-x)}{6EI}$ $\times [3aL - 3a^2 - (L-x)^2]$ $\text{for } (0 \leq x \leq a)$  | $\delta = \frac{Pa}{24EI}$ $\times (3L^2 - 4a^2)$ |
| 正弦均佈負載        | $y = \frac{q_0 L^4}{\pi^4 EI} \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right)$  | $\delta = \frac{q_0 L^4}{\pi^4 EI}$               |
| 均佈負載          | $y = \frac{q_0 x}{24EI}(L^3 - 2Lx^2 + x^3)$  | $\delta = \frac{5q_0 L^4}{384 EI}$                |
| 由兩端至中點遞增之均佈負載 | $y = \frac{q_0 x}{960 LEI}(5L^2 - 4x^2)^2$ $\text{for } (0 \leq x \leq \frac{L}{2})$ $y = \frac{q_0(L-x)}{960 LEI}[5L^2 - 4(L-x)^2]^2$ $\text{for } (\frac{L}{2} \leq x \leq L)$   | $\delta = \frac{q_0 L^4}{120 EI}$                 |
| 由兩端至中點遞減之均佈負載 | $y = \frac{q_0 x}{960 LEI}$ $\times (15L^4 - 40L^2x^2 + 40Lx^3 - 16x^4)$ $\text{for } (0 \leq x \leq \frac{L}{2})$ $y = \frac{q_0(L-x)}{960 LEI}$ $\times [15L^4 - 40L^2(L-x)^2 + 40L(L-x)^3 - 16(L-x)^4]$ $\text{for } (\frac{L}{2} \leq x \leq L)$ | $\delta = \frac{3q_0 L^4}{640 EI}$                |
| 兩端彎曲力矩負載      | $y = \frac{M_0 x}{2EI}(L-x)$   | $\delta = \frac{M_0 L^2}{8EI}$                    |

表(二)

| 負載型式              | 最大誤差<br>(mm) | 最大誤差位置<br>(距離 x 軸位置) |
|-------------------|--------------|----------------------|
| 單一集中負載            | 20.59        | 135                  |
| 兩個集中負載            | 7.85(a=50)   | 112                  |
| 正弦均佈負載            | 17.47        | 125                  |
| 均佈負載              | 16.4         | 123                  |
| 由兩端至中點遞增之<br>均佈負載 | 17.81        | 126                  |
| 由兩端至中點遞減之<br>均佈負載 | 13.94        | 116                  |
| 兩端彎曲力矩負載          | 7.43         | 116                  |