

炭燈彈簧參數驗證與輕量化設計

李建霆, 賴俞任

群光電能科技股份有限公司

摘要

8吋炭燈藉由燈具兩旁的彈簧將炭燈安裝於天花板之上，但是安裝之後在炭燈下緣與天花板接觸的區域會有間隙值的產生，本文藉由ABAQUS結構分析找尋改良的方法藉此解決燈具下方間隙值的問題，並從模擬分析結果與實驗結果做比較，建立彈簧模擬上所需要之參數。在所提出的解決方案中，由於體積減少的原因，所以在使用的單價上也會縮減，達到節省成本暨解決問題的效果，往後並可藉此分析方法模擬在不同幾何設變下異形彈簧的彈簧力分析。

關鍵字：炭燈彈簧、塑性變形、彈簧力分析、輕量化設計

一、緒論

炭燈是許多場合以及室內空間常用的燈具，而炭燈最常用的固定方法是利用燈具兩旁的彈簧將燈具裝設在天花板之上，而裝設之後是不容許間隙值的產生，但是目前機構設計者在設計新彈簧時，並沒有方法可以預先得知所繪製彈簧的彈簧力大小，進而評估現在所設計之彈簧在使用上是否會有問題，必須等到打樣以及實際測試後才可以發現使用上之問題。

本文所提供之模擬方法可以藉此評估所設計之新型彈簧在實際裝設之後可以反應之彈簧力大小，提供給機構人員參考以及建議設計改良的方向。

二、案例說明

炭燈在安裝之後，在炭燈下方與天花板接觸的區域有一圈間隙值，如圖 1，這在安裝之後是不容許的情況，所以希望透過 CAE 軟體找尋問題點與提出解決的方法。

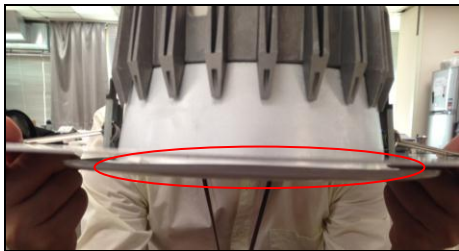


圖 1 炭燈安裝時所發生的問題

三、模擬設定方法

3.1 有限元素模型

圖 2 為所使用的分析模型，主要有天花板還有保留炭燈主要外型並簡化其特徵，但使其的重量與實際產品的重量相同，天花板的材質為 AL5052，圖 3 為所使用的彈簧結構外型，材質為 SWPB，如圖 4 所示，彈簧會使用一側的短柱將彈簧固定至所夾持的夾片，藉此將彈簧堆升至頂端並產生彈簧力，進而固定炭燈在天花板上，彈簧在推升時，由於會抵抗所變化的外型，所以在前端線圈處的會產生較大的應力值。

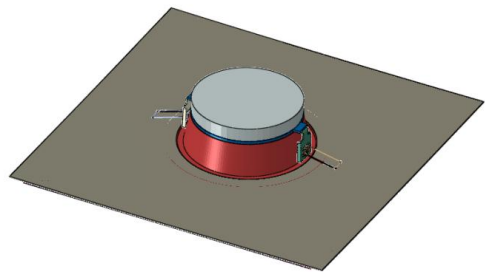


圖 2 炭燈分析模型



圖 3 炭燈彈簧結構外型

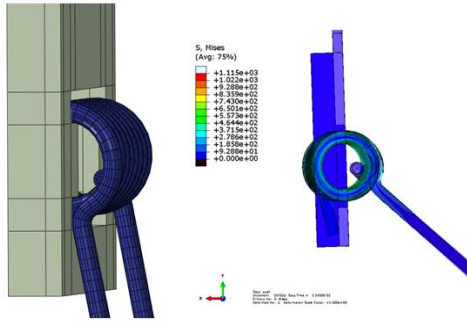


圖 4 彈簧與夾片外型、彈簧應力分布圖

3.2 分析條件設定

炭燈在安裝時，需將彈簧推至最高點並釋放後，使其回彈至天花板後，才可將炭燈夾持至天花板上，在分析的步驟上面需要分成兩個部分，如圖 5 所示，第一個部分為動態解(Explicit Method)，主要為模擬彈簧在推升與釋放彈簧至天花板時的情形，所以會繪製剛體將彈簧推至頂端(1)，(2)，再釋放彈簧使其回彈至天花板上(3)，另外為了取得至穩態時彈簧力的大小，所以會作第二部分的靜態求解(Implicit Method)，會呈接上一個動態解的結果，並匯入到靜態解中求解至穩態時的狀態(4)。

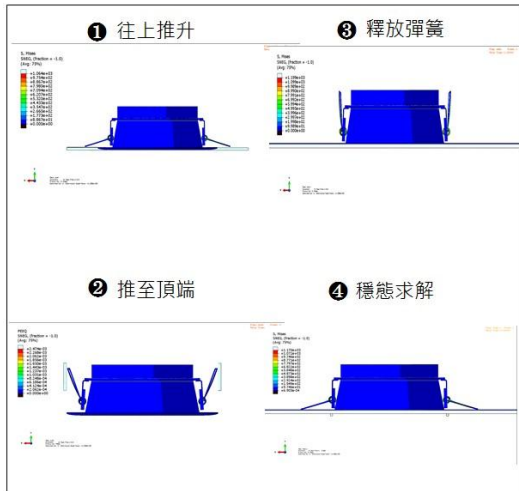


圖 5 模型分析步驟

四、模擬彈簧材料設定討論

一般我們在模擬彈簧行為的時候，在材料部分不會加入塑性段的應力應變曲線，原因是不銹鋼線在扭轉成型時彈簧會因為加

工硬化而提高降伏點，所以在分析時，通常不設定降伏參數。在此情況下我們進行模擬，並改變彈簧參數用以增加彈簧力，不過在打樣之後實際實驗卻發現到在彈簧力上與模擬有很大落差，試著探究其原因，發現到彈簧在折彎之後會造成彈簧力有下降的趨勢，而彈簧常數公式(下一節所述)所反映出的彈簧力只能僅限在尚未折彎時的情況，亦即我們在使用彈簧時必須推至頂端後釋放，此時的彈簧是已經有塑性變形產生的情況，與原本利用彈簧常數公式計算出的彈簧力有所落差，如圖 6 所示，由於折彎後造成短柱的部分會有所變形，並使得彈簧力會下降，所以我們將材料塑性段的部分再次加入至材料參數設定中並進行分析，並且有提高材料之降伏強度。我們也從模擬(如圖 7)中觀察到彈簧在靠近短柱的內壁區域會產生較大的塑性應變值，造成彈簧在承受外力之後，會有永久變形的產生。



圖 6 原始彈簧在未折彎與折彎後的示意圖

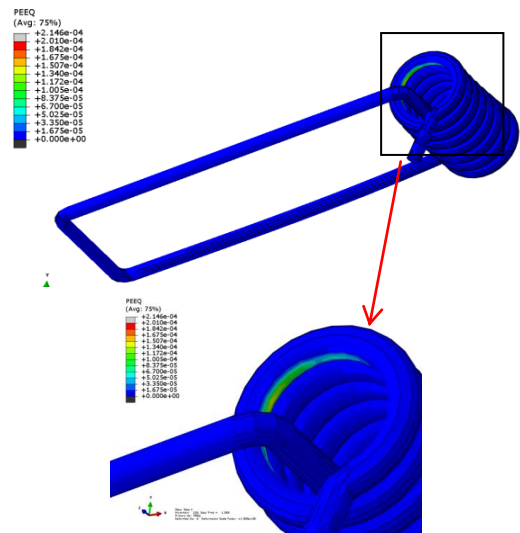


圖 7 彈簧 PEEQ 分布圖

五、彈簧常數公式討論

為了解決所遇到的問題，我們參考了彈簧常數的公式用以設計新的炭燈彈簧，彈簧常數(K)公式如下：

$$K = \frac{E \times d^4}{1167 \times D_m \times \pi \times N \times R}$$

- E = 線材之剛性模數
- d = 線材線徑
- Do = 線圈處外徑
- Dm = 中心徑 = Do-d
- N = 線圈圈數
- R = 力臂長(簧徑中心點到腳長的頂端)
- $\pi = 3.14$

彈簧常數乘以彈簧所旋轉的角度後，即為所反應的彈簧力大小，從公式中可以了解到可以藉由增加線徑、縮小中心徑、減少圈數、縮短力臂長，等四種調整彈簧參數(如圖 8)的方式用以增加彈簧力，最後在考慮節省成本與製程的因素後，最後決議縮短力臂長作為調整的彈簧參數，從原本的長度為 52 mm 調整為 40 mm，在彈簧力有所上升，並可以解決在下方間隙值的問題，也由於體積減少 7%，在單價上也會縮減，可以達到節省成本的效果。

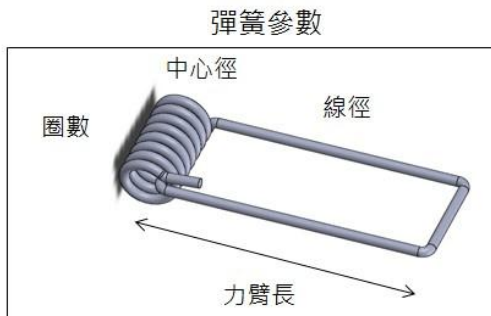


圖 8 彈簧參數定義

六、實驗與模擬比較

在模擬與實驗的驗證上面，下列所述之彈簧力大小關注於垂直分量上的數值，我們藉由 ABAQUS 中的 Contact Force 功能，取出彈簧與鋁板的接觸力數值，如圖 9 所示，可以與實驗結果做比對，實驗的方法會藉由推拉力計測得彈簧力大小，如圖 10 所示。模擬與實驗上炭燈彈簧在 0 次折彎(直接將彈簧裝設在炭燈上與天花板作夾持)與 1 次折彎(將彈簧往上推升至頂端後釋放至天花

板上)下所反應的彈簧力大小值整理如表 1 與表 2 所示。模擬上誤差都在 5% 以內，說明模擬的準確性很高，往後在模擬不同幾何設變下的異型彈簧時，可以藉由此模擬方法進行分析。

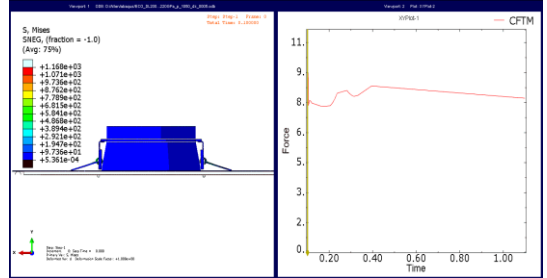


圖 9 模擬彈簧力大小



圖 10 推拉力計量測彈簧力大小

炭燈彈簧 0 次折彎		
彈簧種類	原始彈簧	新彈簧設計
力臂長	52 mm	40 mm
彈簧力(模擬)	760 g	950 g
彈簧力(實驗)	780 g	940 g
誤差	2%	1%

表 1 無折彎時模擬與實驗結果誤差比較

炭燈彈簧 1 次折彎		
彈簧種類	原始彈簧	新彈簧設計
力臂長	52 mm	40 mm
彈簧力(模擬)	662 g	745 g
彈簧力(實驗)	630 g	750 g
誤差	5%	0.6%

表 2 折彎 1 次時模擬與實驗結果誤差比較

我們從模擬與實驗上觀察到原始彈簧在未折彎時的彈簧力大小為 760 g 左右，此時在彈簧下方是沒有間隙值的產生，如圖 11 所示，不過在折彎 1 次後，彈簧力大小降至 660 g 左右，並在炭燈下方會有間隙值的產生(圖 12)，所以我們可以設計新的彈簧在折彎一次後還有 760 g 左右的彈力值，如此在裝設之後就不會有間隙值的產生，如同上一節所述，我們藉由調整力臂長來達到此效果，並且在實驗中觀察到確實可以解決炭燈下方間隙值的問題。新設計的彈簧力臂長為 40 mm，在所預留手指作用區域為 30 mm，大約為成人雙指的指腹寬度，可以方便一般人在裝設時可以施力的作用空間，如圖 13 所示。



圖 11 原始彈簧在 0 次折彎時下方無間隙值



圖 12 原始彈簧在 1 次折彎時下方有間隙值



圖 13 新彈簧設計圖

七、結論

一般機構工程師在設計彈簧時還是會使用經驗法則去設計新的彈簧，不過我們在擁有扭力彈簧參數的公式之後，往後彈簧設計者可以使用公式預先得知所設計彈簧的彈簧力大小，可以配合在所設計炭燈的重量作調整，還有在此次專案經驗中也發現到炭燈彈簧在折彎後還是需要考慮到塑性變形因素所造成彈簧力下降的趨勢，與以往的觀點上有所不同。我們建立此模擬分析方法並獲得了驗證，往後在模擬不同幾何設變下的彈簧時，可以依據此設定檔進行分析，協助結構改善效益上面的評估，不再是 Trial and error 的方式，減少修改製程機台的次數與節省成本，提供更佳的機構設計。