

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：工程學

作品名稱：讓瓶塞隨心所欲

得獎獎項：大會獎佳作

學 校：臺南縣私立港明高級中學

作 者：邱懷德、陳柏豪

評語與建議事項：

創意非常好，具有商品化之價值，在材質之研究宜進一步探討，增加其實用性。

作者簡介

我是陳柏豪 1987 年出生於台南縣永康市，出生在都市中，自幼父母即十分重視與世界接軌，在英語文這方面奠定了良好的基礎。在科學領域方面我也有著極大的興趣及熱忱，從小家中電器就常常被我拆開來研究，因此對物理這方面有著濃厚的興趣。也因為對生活週遭種種細微的小事務用心觀察，在生活上遇到不方便的事務就會想辦法去解決及改善，思索更好的設計及發明，也因為如此，在高中時遇到了與我志同道合的同學，我們兩在一個特殊的場合見到現行瓶塞的不方便。因此共同思索並進一步設計出一系列的瓶塞，此項構想，也使我們幸運的得到第 43 屆全國中小學科展高中組生活與應用科學組第一名。



我是邱懷德，1986 年出生於台南市，今年就讀港明高中三年級。因為本身對數理科方面很有興趣，除了專心學習學校的課業外，也時常與同學們共同研究生活中的種種機械及科學原理。對於運用科技解決生活中種種問題之應用更是雀躍不已，也對電腦應用繪圖方面有部分的涉獵，如：Pro/E。在與同學種種的討論及研究中，選定瓶塞這個設計來進行專門的研究及探討，經過一連串的設計、改造、論文的撰寫及電腦軟體的協助下，使我們幸運的得到第 43 屆全國中小學科展高中組生活與應用科學組第一名。



讓瓶塞隨心所欲

中文摘要：

這是一種可在膨脹狀態及未膨脹狀態間轉換的膨脹收縮瓶塞。本設計之瓶塞包含一彈性橡膠之塞座及一剛性塑膠之旋轉控座。該瓶塞在未膨脹狀態，可將瓶塞置於平口內將瓶塞順時針方向旋轉 90 度使瓶塞由未膨脹狀態轉換至膨脹狀態將瓶子密封；欲開瓶時將瓶塞逆時針方向旋轉約 90 度使瓶塞由膨脹狀態轉換至未膨脹狀態，可輕易將瓶塞從瓶子內拉出。

根據顧客之需求設計瓶塞並選定適當之塑膠材料以製作旋轉控座及適當之衛生橡膠以製作塞座，依廠商提供塑膠及衛生橡膠之特性資料做有限元素分析預測橡膠元件受撐大之變形量，進行加工與製造印證分析之結果，與預期目標有相當的差異，故製作簡易之試件進行探求塞座內縮量與瓶塞膨脹量之關係，探求瓶塞膨脹量與瓶子所能承受的壓力之關係，進而逆向設計瓶塞之塞座內縮量。

Let the bottle plug do whatever you want

English Summary：

This is a kind of bottle plug that can change at the situation of swell or unswell. The design of this bottle plug includes a rubber plug and a rigid plastic controller that can revolve around. We can put the bottle plug at the top of the bottle and rotate it 90° c.w., the bottle pug will be at the situation of swell and then seal up the bottle. If we want to open the bottle, we just rotate 90° c.c.w., and the bottle plug will be at the situation of unswell and then we can pull the bottle plug out easily.

I design this bottle plug according to the need of the customers; choose the certain plastic material to make the rigid plastic controller, and the properly rubber to make the plug; analyze and predict the amount of deformation by Finite Element Method in accordance with the characteristics of rubber and plastic supplied by the factories. However, the result and the expected result are quite different. In order to solve the problem, I make an easy sample to search for the relationship between the contraction of the rubber plug and the swells of the plastic controller and also the relationship between the swells of the plastic controller and the pressure that the bottle can endure. Then I design the contraction of the rubber plug on the base of the result of the experiment I made above.

一.前言：

我參加基本學力測驗後因成績不錯，教務主任到寒舍拜訪招生，父親正拿出一瓶愛蘭喜酒招待朋友，並誇耀說這是使用他朋友所設計之專利瓶塞，我舉出它有三個缺點：一為三個元件，零件複雜，二為密封效果不佳，三為開瓶時太費力，受到父親之鼓勵，故而引發與同學一起研究更好之設計的構想。

本設計在研究過程中曾參加全國中小學科展高中組「生活與應用科」獲評第一名及最佳設計獎，並已獲大陸新型專利，台灣發明專利，大陸發明專利申請案已公告進入實審階段中；但未將設計商品化是件毫無意義的事情，故而進行商品化之研究及試驗。

設計不必使用開瓶器且符合一般人的使用習慣的瓶塞，簡化零件數量，降低生產成本提昇產品之競爭能力。

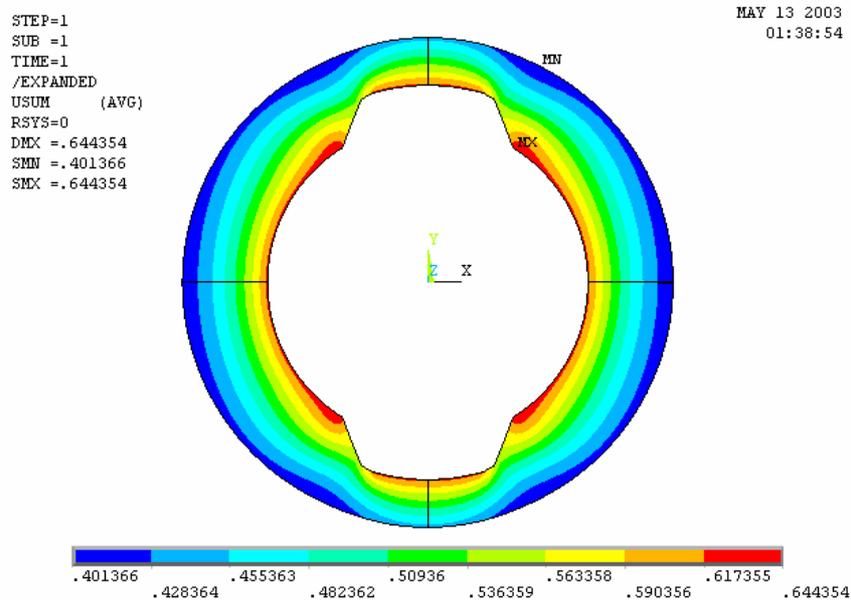
二.研究方法或過程：

- (一).收集資料：有了初步構想，就上網查詢相關之專利公告，了解有無侵犯他人之智慧財產權，並且收集市場上使用之瓶塞供設計參考用，經判斷無侵犯他人智慧財產權且有從事研究之價值。
- (二).初步設計：瓶塞包含一彈性橡膠之塞座及一剛性塑膠之旋轉控座，係利用錐度使瓶塞向外擴張及向內收縮，及利用螺旋省力原理，及一般人拿到瓶子欲開啓瓶塞時有將瓶塞逆時針旋轉一下後就想拔出瓶塞之習慣。故設計螺旋之導程為膨脹狀態轉換至未膨脹狀態旋轉控座所需移動量之四倍。
- (三).訂製試驗模型：利用學校假日到模型工廠委託繪製立體製圖確定符合我們的設計後訂製試驗模型；拿到試驗模型經試驗效果良好，唯瓶塞之膨脹量嫌太小，密封效果不佳，其它方面均能滿足設計目標，故為了確保智慧財產權，委託專利事務所提出專利申請案。因為常要修改設計圖所以利用暑假期間到區域大學學習電腦立體製圖以應研究需要。
- (四).決定材料：查詢適當之塑膠材料（ABS PA-707）以製作旋轉控座及適當之衛生橡膠（TPR 4055）以製作塞座；要求原料供應商提供塑膠及衛生橡膠之特性資料；並且用 100°C 開水煮沸一分鐘，及浸泡藥用 95 度酒精浸泡六十小時做變形試驗。
- (五).製作試驗金屬模：要大量生產必須委託廠商模具工廠製作塑膠零件模及衛生橡膠零件模；製作試驗簡易模具時必須考慮分模線及拔模角度，將原先設計之五線螺紋修改成二線螺紋，將旋轉控座分解成瓶蓋及旋轉螺桿，分別射出成型後再組合成旋轉控座。
- (六).第一代金屬模：第一代金屬模所生產之瓶塞仍然有相當多之缺點有待解決如：
 - 問題一：瓶塞在膨脹狀態時旋轉控座會反彈，檢討後在塞座底部增加 3mm 之空間及增大旋轉控座之倒圓角。

問題二：瓶蓋邊緣部份與手的摩擦力不足，檢討後增加輻紋設計。

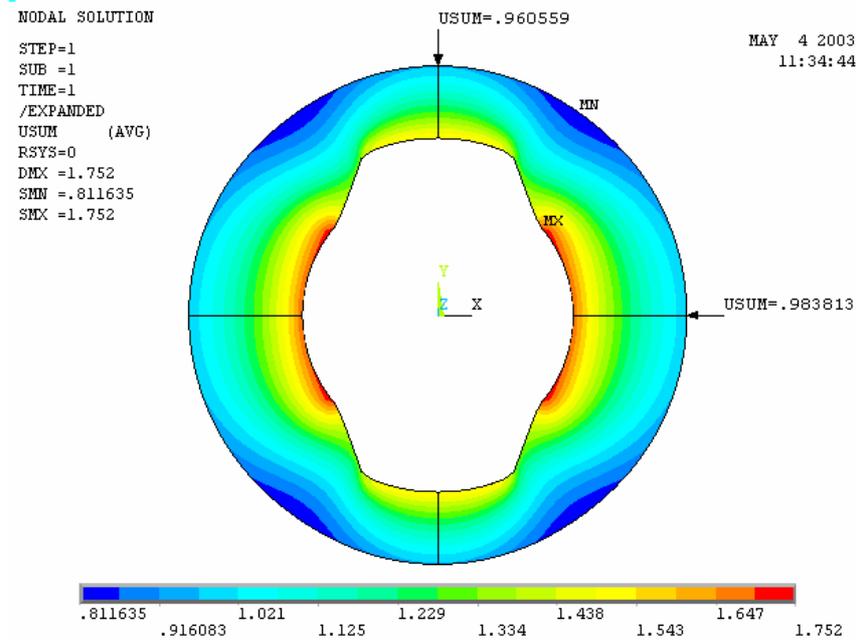
問題三：塞座的內縮量(內縮量為瓶塞在未膨脹狀態轉換至膨脹狀態其塞座內孔縮小尺度的量。)為 1mm 時瓶塞的膨脹量(膨脹量為瓶塞在未膨脹狀態轉換至膨脹狀態其塞座被其旋轉控座向外撐大的量。)僅為 0.1mm，檢討後到區域大學請求協助，透過有限元素分析欲使瓶塞膨脹量為 1mm 塞座之螺峰部分的內縮量的為 3.1mm 塞座之螺谷部分的內縮量約為 3.4mm，橡膠材料形變為高非線性行為需要作修正補償，討論後塞座之螺峰部分的內縮量以 2mm 螺谷部分的內縮量以 2.2mm 進行第二次金屬模試驗。

(七) 有限元素分析：依原本構想之設計，將剛性塑膠元件之螺峰與螺谷尺寸向內縮 1.25mm 作為橡膠元件之內面螺峰與螺谷尺寸，分析結果如下圖，螺峰處向外變形約 0.5mm，螺谷處向外變形約 0.4mm，此變形量不但不均勻且與設計欲達到變形量 1mm，有相當大之差距。



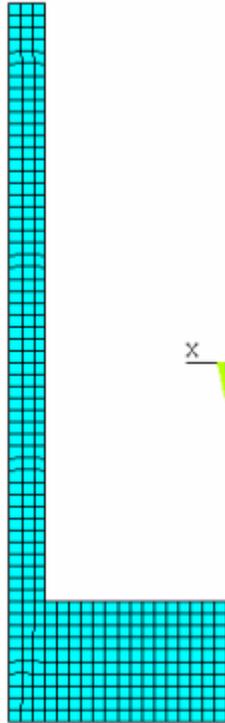
原始設計之分析結果

故考慮增加橡膠元件之螺峰與螺谷之厚度，即增加剛性塑膠元件之螺峰與螺谷向內縮之尺寸，以達到使整體之外圍皆有 1mm 之變形量。經幾組參數測試後，得到接近之數值為「以剛性塑膠元件螺峰部分向內縮 3.1mm，螺谷向內縮 3.4mm」以此尺寸作為橡膠元件之內面尺寸，所得到之結果如下圖，螺峰處約有 0.96mm 之變形量，螺谷處約有 0.98mm 的變形量，相差約 0.02mm，與原設計相比，不論螺峰與螺谷處皆較接近 1mm，且差距較小，變形較均勻。



分析所得之最佳參數之變形量

- (八) 第二代金屬模：第二代金屬模所產生之瓶塞雖然瓶塞的膨脹量為 1mm，但是無法與市場上的瓶子配合使用，因為一般市場上的瓶子，瓶口尺寸比膨脹處尺寸約小 0.8~0.9mm，檢討後決定修改塞座之螺峰部分的內縮量為 3.0mm 及塞座之螺谷部分的內縮量為 3.5mm，及塞座之外徑為 18mm 進行第三次金屬模試驗。
- (九) 第三代金屬模：第三代金屬模所生產之瓶塞膨脹量螺峰部分約為 1.9mm 螺谷部分約為 1.45mm 勉強可以將瓶子密封。
- (十) 試件試驗：檢討後決定開金屬模製作有直孔之塞座試件，再購買間距 0.5mm 之標準圓棒及直徑不同的鋼珠，逐一將標準圓棒及鋼珠分別塞入塞座試件孔中，再以投影機測量塞座試件之膨脹量並作出統計表。將玻璃瓶子底部以玻璃專用鑽頭鑽孔再加裝測量壓力裝置(氣壓錶、調速閥快速接頭等)，將塞座試件置於瓶口處再逐一將鋼珠分別塞入塞座試件孔中，使塞座試件撐大，再測量塞座試件所能承受的瓶內壓力值，並作出統計表。
- (十一) 再次試件試驗：檢討後再增加 10.11 mm 塞座試件，訂製所缺間距 0.5 mm 之鋼珠，試驗時測量相距 90 度方向之直徑尺度，再以平均值來作出統計表，氣壓表改以壓力感知器及數位顯示器來測量塞座試件所能承受的瓶內壓力值並作出統計表。
- (十二) 再次有限元素分析：
- 1、為簡化分析將橡膠件視為一圓桶狀之模型，因模型為一軸對稱形，建立二維之分析模型如下<圖一>；將之繞 Y 軸旋轉即可得三維之圓桶模型如下<圖二>。



<圖一>



<圖二>

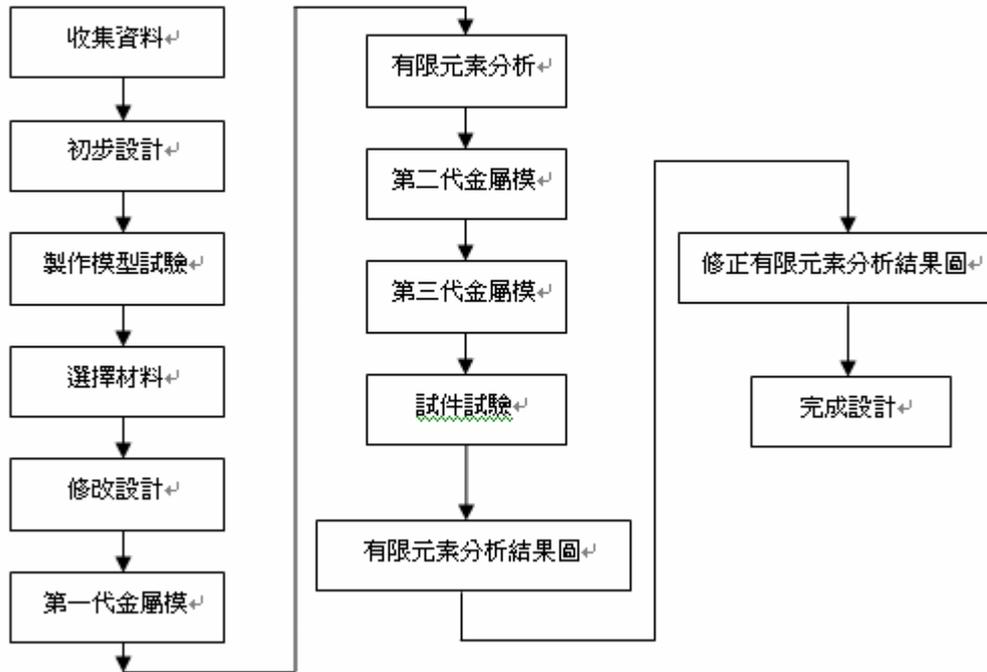
2、因主要分析橡膠材料之變形，故取其楊氏係數 5GPa，普松比為 0.499 進行分析，邊界條件部份，首先固定圓柱之開口側，接著在內壁給定一個向外之弧形變形量；模擬鋼珠向外撐大之情形。

(十三) 修正有限元素分析圖表：根據試件試驗結果及有限元素分析結果的差異來修正有限元素分析圖表以做為設計依據。

(十四) 完成設計：根據顧客所需要之條件中瓶內壓力來計算出壓迫直徑量，「壓迫直徑量」加上「瓶口壓迫處之直徑與塞座外徑的差值」即為膨脹直徑量，再依據「修正之有限元素分析圖表」分別求得螺峰處及螺谷處之內縮直徑量，再進行設計。

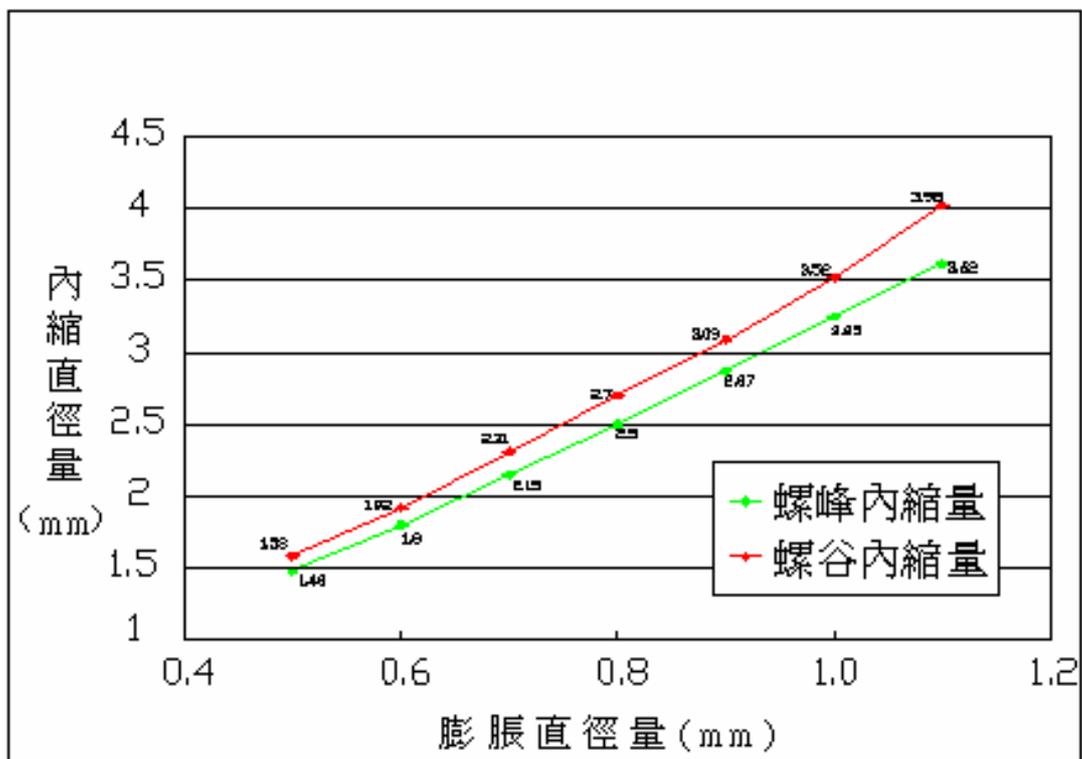


研究流程圖



三.研究結果與討論：

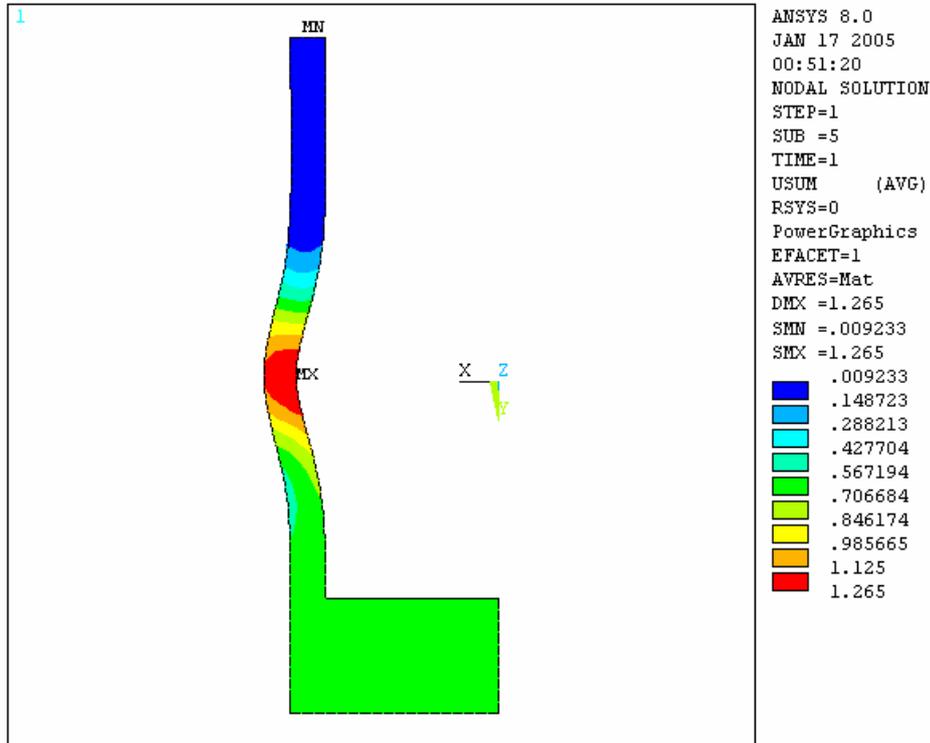
(一).有限元素統計圖：



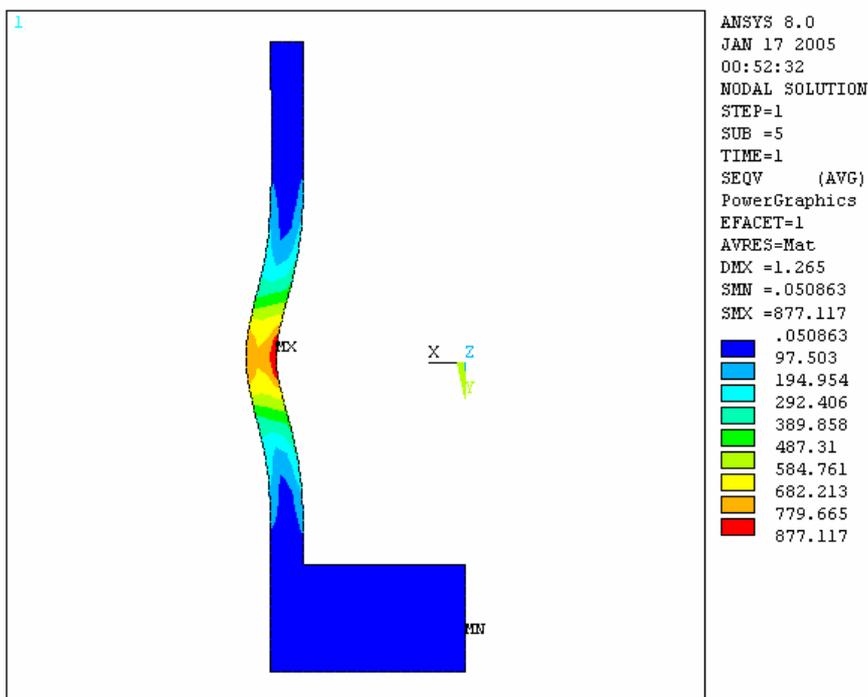
(四).有限元素分析結果：

因模型已簡化過，故每組參數只需約 1 分鐘之時間即可得到變形結果，取其中一組數據（外徑 18mm、內徑 15mm、鋼球直徑 17.45mm）之分析結果展示：

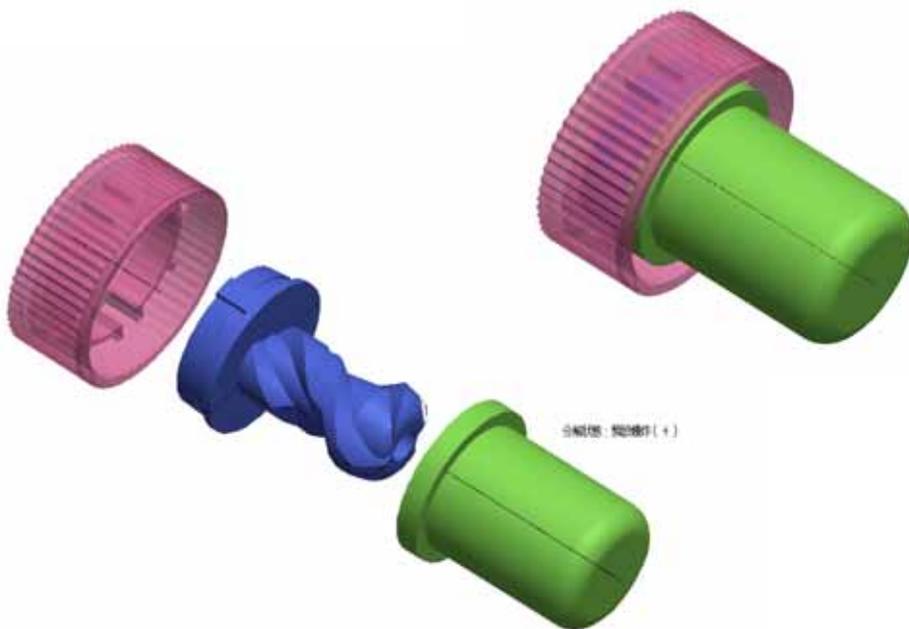
變形後之位移量如下圖：



應力分佈如下圖：

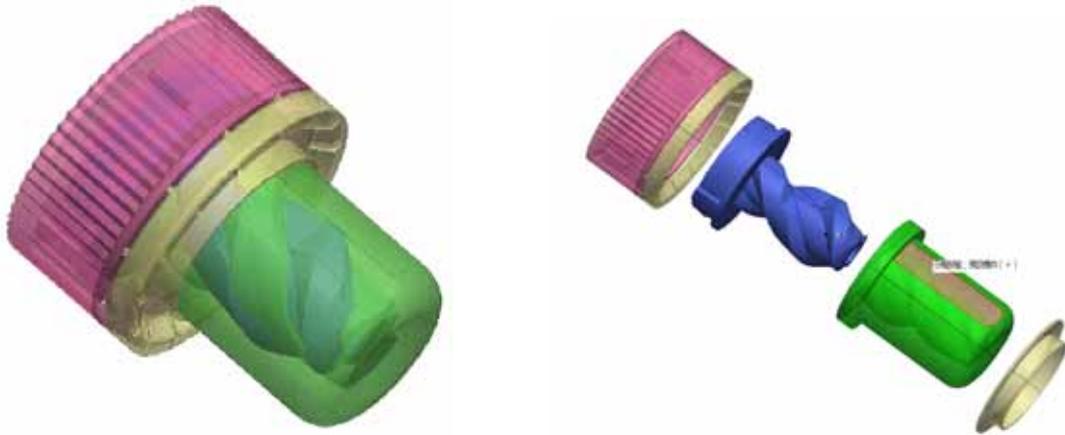


- (八).檢討第三代金屬模之瓶塞旋轉螺桿之螺峰處直徑 14 mm，螺谷處直徑 10 mm，塞座外徑 18 mm，塞座膨脹位置之螺峰處直徑 11 mm（內縮直徑量為 3 mm）螺谷處直徑 6.5mm（內縮直徑量為 3.5 mm）實際測量所得膨脹直徑量螺峰處直徑 1.9 mm螺谷處 1.45 mm。查修正之有限元素分析圖所得螺峰處 1.98 mm螺谷處 1.37 mm，討論其原因可能如下：螺峰處頂出之材料產生側向位移致尺度縮小螺谷處增大；另外橡膠變形屬高非線性行為很難預測其變形量。螺峰處與螺谷處有相當之空隙難免材料會產生側向位移致產生誤差，但誤差仍然在允許範圍內。
- (九).第四代瓶塞設計：顧客瓶口尺度為直徑 18.10mm~18.40mm，瓶塞膨脹處的瓶口尺度為直徑 18.45mm~18.75mm 瓶塞至少要能承受每平方公分 2 公斤之壓力；故設計第四代金屬模之瓶塞旋轉螺桿之螺峰處直徑 15 mm螺谷處直徑 11 mm，塞座外徑 18 mm，塞座膨脹位置之螺峰處直徑 11.9 mm（內縮直徑量 3.1 mm）螺谷處直徑 6.5 mm（內縮直徑量 4.5 mm），查修正之有限元素分析統計圖表得知膨脹直徑量均為 2 mm，預估可承受壓力約每平方公分 2.5 公斤，但因模具加工來不及僅修改塞座之尺度，故塞座外徑 18 mm，旋轉螺桿之螺峰處直徑 14 mm，螺谷處直徑 10 mm塞座之螺峰處直徑 10.9 mm（內縮直徑量 3.1 mm）螺谷處直徑 5.5 mm（內縮直徑量 4.5 mm），查修正之有限元素分析之統計圖表計算所得塞座螺峰處之膨脹直徑量為 2 mm，可承受壓力為每平方公分 $2 \times 2.148 = 4.296$ kg，螺谷處之膨脹直徑量為 1.64 mm 可承受壓力為每平方公分 $1.64 \times (1.05) = 1.722$ kg 預估瓶塞整體可承受約每平方公分 2 kg。密封時瓶塞可承受的拉力為 $\pi \times 1.8 \times 1.8 \div 4 \times 2 = 5.09$ kg。
- (十).設計圖：瓶蓋與旋轉螺桿結合處修改為強制結合，不必使用結合劑。



四.結論與應用：

- (一) 摩擦力分析：由於密封效果來自於衛生橡膠材料與瓶口內面之接觸摩擦力，又此摩擦力是由剛性塑膠材料撐大衛生橡膠材料，增加衛生橡膠材料與瓶口內面接觸之正向力，以提高摩擦力，及若撐大之量越多所造成之正向力越大，密封效果也就越好。
- (二) 有限元素分析結果與試件試驗結果均證明膨脹量與內縮量之關係呈近似正比例關係故若用直線表示其關係。關係圖中之直線會因其厚度值增加，其斜率值(斜率值=膨脹量/內縮量)有遞減之趨勢。
- (三) 鋼珠壓力試驗結果之關係圖中之直線會因厚度值增加，其斜率值(斜率值= $u/8$ 瓶內壓力/壓迫量)有遞減之趨勢。並從實驗中得知關係線為曲線，如今以直線代替曲線必存在誤差量待往後修正之。
- (四) 有家奈米科技公司願意合作生產來推銷此瓶塞，並且爲了提升瓶塞之附加價值，要把奈米金噴附於瓶塞之塞座處，因爲二至五奈米的大小奈米金爲酒精的催化劑，又在人的體內性質穩定不會影響健康但可使酒類更甘醇甜美。
- (五) 近來仿冒事件頻傳，如假酒充斥市場，讓生產者有能力鑑別有無被仿冒，使用者有能力鑑別是否爲原廠貨進而安心使用。
 - 方法一：瓶蓋加印感溫染料的商標、製造日期、製造批號等，設定溫度 60 度 C 以上時顯示黑色，溫度 60 度 C 至 5 度 C 時顯示紅色，溫度 5 度 C 以下顯示藍色。
 - 方法二：瓶蓋加印防偽紫外線染料的商標、製造日期、製造批號等特殊記號，平時不顯現顏色，必須在 365nm 波長紫外線的燈光下才顯現顏色。
 - 方法三：瓶蓋加印隱形染料的商標、製造日期、製造批號等特殊記號之 A 劑，平時不顯現任何顏色，加上 B 劑才顯現顏色。
- (六) 瓶蓋下緣增加一個開瓶指示環及一個墊圈，封瓶時開瓶指示環強迫通過墊圈，開瓶時墊圈阻擋開瓶指示環而致其拉斷用以區別有無開瓶過。
- (七) 發酵酒類所使用之瓶塞有洩壓管路設計，管路深度 0.5mm 當瓶內壓力比瓶塞所能承受壓力約低每平方公分 0.8 公斤即洩壓，使瓶內壓力維持相當壓力不致於將瓶塞頂出。



五、參考文獻：

陳精一、蔡國忠。電腦輔助與工程分析：ANSYS 使用指南。全華科技圖書公司。

王雪娥、陳進煌。電腦輔助繪圖 AutoCAD 2000 中文版。全華科技圖書公司。

張益三、黃聖杰。Pro/ENGINEER 2000i 系列－PRO/E 入門基礎－實例演練。全華科技圖書公司。

馬振基。奈米材料科技原理與應用。全華科技圖書公司。