

可攜式電子產品之應力分析

唐明豐, 謝碩任, 易亞東, 陳文吉
光寶科技股份有限公司 電源事業群

摘要

電子產品功能雖然為使用者之主要選擇考量，但實用上、信賴性上，結構設計也影響了使用者的使用經驗與體驗。ABAQUS 的強大功能及適用性，被廣泛的應用在各領域，其中也包括電子領域。

本文主要說明 ABAQUS 應用在電子產品上的幾種實際情況，內容包括：殼體超音波熔接線設計優化、可摺式插頭之彈片最佳化設計、及踩踏行為之受力分析。從模擬分析結果與實際改善情況比較，二者相接近，且實務上問題已獲解決，證明 ABAQUS 在此類電子產品之最佳化問題上的適用性。

關鍵字：ABAQUS、電子產品、最佳化設計

一、概論

市售常見之可攜帶性電子產品雖然以電子零件做為主體，並藉此產生主要的功能，但如果更進一步觀察及分析使用者與電子產品之間的互動關係，便發現其間存在著許多與力學相關之互動情況。其中，有一些是使用者不希望發生，或者希望產品能夠具備抵抗能力而不失效之情況，例如：電子產品掉落到地上、瞬間受外力撞擊、腳踩等；另有一些則是使用者希望有的感覺，例如：按鍵的手感、無異音等。這些與使用者感受密切之互動，不一定全與電子功能直接相關，反倒屬於力學範疇，如何處理這些力學範疇的問題，本文列舉數個實際應用例，以此說明電子產品如何利用 ABAQUS 來優化設計，或者作為設計者決策的工具。

本文內容架構如下：第一部份與球擊 (Ball impact) 相關，主要說明電子產品受球擊類似之外力撞擊時，如何藉由 ABAQUS 評估設計之優劣，進一步優化原有設計。此部份之應用例以常見之殼體超音波熔接線為對象，評估超音波熔接線周圍區域之強度，優化殼體超音波熔接線設計。

第二部份與最佳化接觸設計之應力分析有關，產品上常見因零件彼此間相互接觸，相對運動而產生之應力與應變，這些接觸過程中之應力應變進一步影響使用者之感受，二者間產生連結，例如：彈片之接觸

力過大讓使用者施力不易，或接觸力之變化曲線讓使用者覺得不舒服等。此部份之應用例為可摺式插頭之彈片最佳化設計，此例以可摺式插頭的彈片為對象，說明如何藉由 ABAQUS 產生的接觸力曲線，評估並調整設計，使其接近使用者偏好的手感。

第三部份與最佳化接觸設計之應變分析有關，為消除卡勾因使用者踩踏行為而滑出溝槽所產生之不舒服聲音，針對踩踏行為進行受力分析，模擬使用者腳踩電子產品之實際情況。當使用者之腳部下壓外力讓產品殼體產生變形，位於溝槽中之卡勾滑出，滑動過程中，卡勾與溝槽之間的斷差易產生明顯聲音，藉由觀察 ABAQUS 的模擬結果及各區域的變形狀況，提供一些可考慮之改善方向，消除聲音產生。

二、殼體超音波熔接線設計優化

2.1 問題描述

對於常見電子產品而言，受球擊類似之外力撞擊時，殼體超音波熔接線周圍通常為相對較弱區域，因為此區域之材料不連續性較大。通常依材料破壞位置來分，實務上可概分成破壞點出現於熔接面或者非熔接面二種破壞模式。此處以圖 1 所示情況為例，將重量 500 克金屬球置於一塑膠殼體上方 1.3 公尺處，使其自然落下，撞擊塑膠殼

體側面之超音波熔接線中心，良好之殼體結構設計應能承受球擊產生之衝擊力，而無材料破壞。

S 形超音波熔接線為既有常見之超音波熔接線設計，如圖 2(a)。在 S 形結構設計中，實際熔接部份約佔全 S 形曲線之 1/4 至 1/3，其餘部份只接觸無熔接，此類設計在實務上雖常用，卻無法突破一些限制，例如：熔化材料之側邊溢料影響美觀、熔接強度難以提昇等。基於以上原因，經檢討而改良後之設計為 C 形超音波熔接線，如圖 2(b)。C 形超音波熔接線之結構設計與 S 形相較，主要不同處為：

1. C 形曲線之總接觸長度較長。
2. 超音波熔接材料位於 C 形曲線中段，較無外觀溢料風險。

2.2 分析方法

由實務經驗知，若超音波熔接品質正常，密合熔接面受球擊而拉開之情況很少，故分析上本文將熔接線局部材料熔接區域，使用邊界條件將上下蓋局部元素拘束為一體，整個殼體使用 ABAQUS 的一階元素 C3D4，及 Explicit 方法來求解。[1]

模型中之非線性來源有三種：(1)材料非線性：殼體使用塑膠材料，塑膠材料具有非線性及非彈性之材料行為；(2)邊界非線性：模擬過程中金屬球與殼體發生接觸，邊界條件產生變化而不連續；(3)幾何非線性：分析過程中之大變形使得結構形狀及剛度(勁度)發生變化。ABAQUS/Standard 預設之假設為小變形理論，ABAQUS/Explicit 預設之假設為大變形理論，基於以上原因，故使用 Explicit 方法來求解。[1]

本文藉由觀察整個殼體之塑性應變狀況來評估其承受球擊之風險大小，殼體藉由變形來抵消球擊落下產生的衝擊力之能量，殼體的變形若能均勻分佈於殼體各區域，而非集中於特定局部區域，應可以降低局部材料之塑性應變，若材料之塑性應變小，其破壞的風險則會降低。

ABAQUS 中之 PEEQ(等效塑性應變)指標描述了塑性應變大小，藉由觀察整個殼體之 PEEQ 大小與分佈，可檢驗不同設計承受球擊能力之好壞。

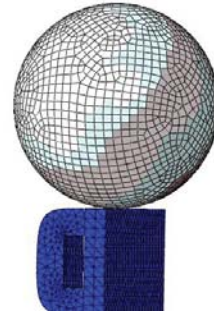


圖 1 球擊殼體示意圖

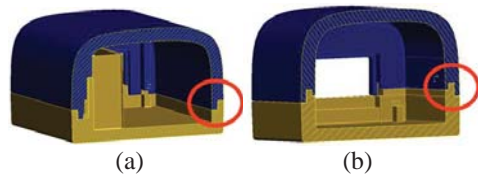


圖 2 超音波熔接線示意圖：(a) S 形，(b) C 形

2.3 結果與討論

圖 3(a)及 3(b)為殼體球擊模擬結果，說明使用 S 形及 C 形超音波熔接線之殼體，受球擊之後之最大 PEEQ 處，此處可視為破壞風險較高之區域，表 1 為此區域之最大 PEEQ 值。

從圖 3(a)(b)及表 1 結果觀察得知，S 形與 C 形超音波熔接線之最大塑性變形區域同樣出現於超音波熔接線之中心區域，即球擊中心點附近，但 C 形設計具有相對較小之 PEEQ 值，亦即較小之塑性應變，破壞之風險亦相對較小，可見經檢討而改良後之 C 形設計具有較佳之承受球擊能力，可將球擊產生之衝擊力較均勻分佈於殼體各區域，減低特定局部區域之塑性變形量。

所以，可藉由檢討殼體超音波熔接線設計，並以應力分析模擬球擊，發現先前設計缺點，進行設計優化，並獲得改善。

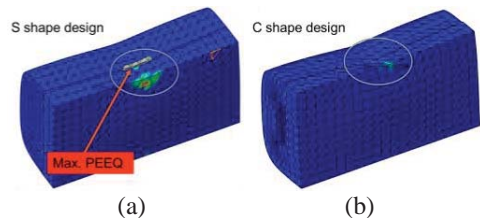


圖 3 具不同超音波熔接線之殼體球擊模擬結果：(a) S 形，(b) C 形

PEEQ	Value
C shape design	0.06422
S shape design	0.922

表 1 具 S 形與 C 形超音波熔接線之殼體最大 PEEQ 值

三、可摺式插頭之彈片最佳化設計

3.1 問題描述

小瓦數可攜式產品常用金屬彈片來取代電線作為電流傳導路徑，如何掌握合適的接觸力，以提供足夠之接觸阻抗，同時滿足使用者手感，並不容易。本文根據插頭之旋轉行為，調整金屬彈片與殼體之幾何形狀，使插頭轉軸與彈片之間的接觸力，滿足接觸阻抗及使用者的手感等要求。

彈片之設計目標如下：[2][3]

1. 在電流通過時，有最小之接觸阻抗，且接觸阻抗位於穩定區間。
2. 在電流通過時，有最大之接觸力，且彈片不產生塑性變形。

圖 4 為可摺式插頭之彈片應用例，圖中之插頭可作 90 度旋轉，收納時插頭水平放置以節省空間，直立位置即是電流通過時之轉軸位置。

本文透過改變彈片與殼體之幾何參數，尋找合乎設計目標之彈片設計，並期望藉由 ABAQUS，在設計初期進行評估且提供較佳之設計方案。

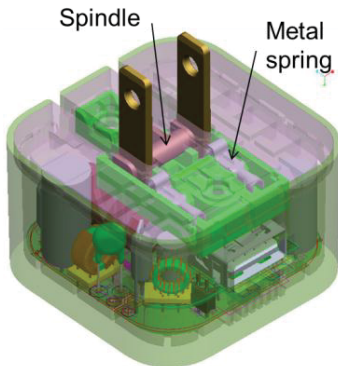


圖 4 可摺式插頭之彈片示意圖

3.2 分析方法

為了提高分析效率，僅針對彈片及插

頭轉軸作為主要分析對象，進行二者間之接觸力分析，整個殼體使用 ABAQUS 二階元素 C3D8R，及 Standard 方法來求解。[1]

模型中之非線性屬於輕度或平滑非線性，其非線性來源有三種：(1)材料非線性：彈片使用金屬材料的線性及彈性行為區間；(2)邊界非線性：模擬過程中彈片與插頭轉軸發生接觸，邊界條件雖產生變化但不劇烈；(3)幾何非線性：彈片的變形相較於整體結構而言並不大。ABAQUS/ Standard 預設之假設為小變形理論，ABAQUS/Explicit 預設之假設為大變形理論，基於以上原因，故使用 Standard 方法來求解。[1]

藉由觀察彈片與插頭轉軸之間之接觸力變化，檢驗不同設計是否滿足設計目標，並由 ABAQUS 產生之接觸力曲線，評估並調整設計，使其接近設計目標，完成可摺式插頭之彈片最佳化設計。

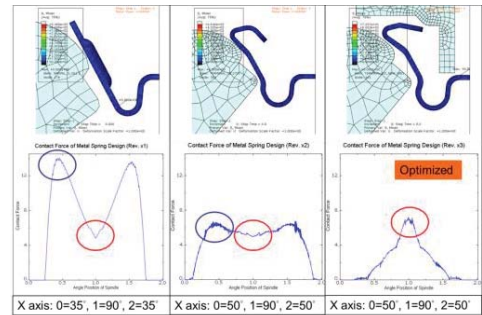


圖 5 可摺式插頭的彈片之接觸力模擬結果

3.3 結果與討論

圖 5 說明可摺式插頭之彈片接觸力模擬結果，圖 5 上方為三種彈片之幾何形狀，下方為接觸力相對於轉軸位置之變化曲線。

從結果觀察知，最左方及中間之彈片設計皆不符合設計目標，其最大接觸力並非出現在插頭轉軸位於 90 度時(即電流通過時的轉軸位置)，只有最右方之彈片設計滿足設計目標，其最大接觸力出現在插頭轉軸位於 90 度時(即電流通過時的轉軸位置)，且進一步檢驗其對應的接觸阻抗，接觸阻抗位於穩定區間。故三者相較，最右方的彈片設計可視為最佳化之設計。

所以，可藉由檢討接觸力曲線之變化，並以應力分析模擬彈片接觸，發現設計

缺點，進行設計優化，並獲得改善及得到較佳設計方案。

四、蹂踏行為之受力分析

4.1 問題描述

使用者之蹂踏行為易使置於地上之產品產生異狀或異音，此類異狀或異音不一定影響其主要電子功能或者破壞主結構，但易讓使用者感受不佳，圖 6 為一個產品受到蹂踏行為之實際情況。

受分析之產品其上殼體和下殼體之間以螺絲和卡勾固定，二顆螺絲位於對角線二角落，其餘地方則以數個不同形式之卡勾扣住。當使用者腳跟蹂踏於產品之中心點時，下殼體產生大變形，使下殼體周圍卡勾滑出溝槽，滑動過程中，卡勾與溝槽之間的斷差產生人耳可聽到的聲音。

本文藉由力學模擬工具 ABAQUS 來分析受力狀態下，外蓋卡鉤是否滑出溝槽來判斷有無異音產生，並改善設計。[4]



圖 6 蹂踏行為之示意圖

4.2 分析方法

分析時假設使用者體重約 80 公斤，並將使用者之腳跟與塑膠殼體之間的接觸行為，改以球體對塑膠殼體之接觸來模擬，當腳跟對塑膠殼體往下蹂時，相當於 80 公斤的球體置於塑膠殼體中心點並往下移動，讓塑膠殼體產生下凹變形。將球體之往下位移作為 ABAQUS 之邊界條件，球體往下移動過程中，殼體亦產生對應之下凹變形量，整個殼體使用 ABAQUS 一階元素 C3D10M，及 Explicit 方法來求解。[1]

模型中非線性來源有三種：(1)材料非線性：殼體使用塑膠材料，塑膠材料具有非線性及非彈性之材料行為；(2)邊界非線

性：模擬過程中球體與塑膠殼體發生接觸，且上、下殼體之間的卡勾相互接觸滑動，接觸邊界條件產生變化而不連續；(3)幾何非線性：分析過程中的大變形使得結構的形狀及剛度(勁度)發生變化。ABAQUS/Standard 預設之假設為小變形理論，ABAQUS/Explicit 預設之假設為大變形理論，基於以上原因，故使用 Explicit 方法來求解。[1]

藉由觀察整個塑膠殼體之變形狀況，評估其下殼體之中心點受壓變形後周圍卡勾之滑動狀況，由觀察 ABAQUS 之模擬結果及各區域之變形狀況，提供可考慮之改善方向，消除聲音產生。

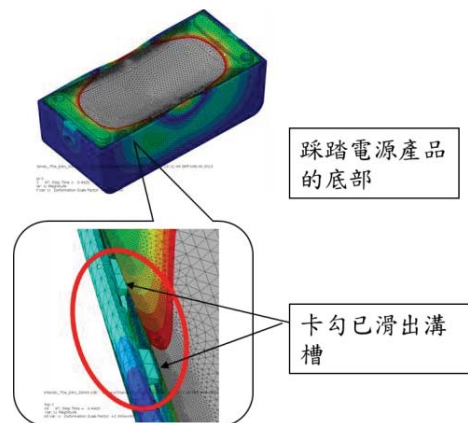


圖 7 蹂踏行為受力分析之模擬結果

4.3 結果與討論

圖 7 為下殼體中心點受壓下凹之情況，因兩側邊緣中央之卡勾設計可將上下殼體緊牢扣住而不分開，故變形之後之最大縫隙出現在靠近四個角落的地方，將角落縫隙放大觀察，可見卡勾已滑出溝槽。

經進一步檢討，可能改善方向有：(1)增加卡勾的長度；(2)下殼體增加肋條來提高剛性，減少變形；(3)改變卡勾的形狀。實務上，考量修模難易度，本文選擇以增加下殼體的肋條來提高剛性，減少變形做為改善的方案。

所以，分析使用者之蹂踏行為是否會使置於地上之產品產生異狀或異音時，可藉由力學模擬工具 ABAQUS 分析其受力狀態下，外蓋卡勾是否滑出溝槽來判斷有無異音的產生，並改善設計，藉由應力模擬，可以減少修模或樣品製作的次數。

五、總結

在殼體超音波熔接線設計優化實例中，利用 ABAQUS 發現既有超音波熔接線之缺點，改善並優化後之新型超音波熔接線在球擊狀況下，驗證具有較小之塑性應變，破壞風險也相對降低，已實際導入產品應用中。

對於可摺式插頭之彈片最佳化設計，藉由檢討 ABAQUS 之接觸力曲線變化，逐步最佳化彈片幾何形狀，最後使彈片滿足設計目標並導入應用，大量節省樣品製作次數及縮短產品開發時間。

在踩踏行為之受力分析實例中，先將異音問題轉化為卡勾脫勾問題，再藉由 ABAQUS 進行結構分析，模擬結果提供改善方向，結合實務上修模難易度判斷，選擇增加下殼體肋條提高剛性、減少變形為改善方法，不僅大幅減少修模次數，問題也已獲解決。

由以上數個實例，證明 ABAQUS 應用在可攜式電子產品上之適用性，不僅有助於產品設計開發，亦有助於實務問題解決。

六、謝誌

在 ABAQUS 導入初期，感謝士盟科技蘇旭民副理的指導，特此誌謝。

七、參考文獻

- [1] SIMUTECH, “ABAQUS 顯式進階動力學分析課程講義”
- [2] EIA-364-1000, “Environmental test methodology for assessing the performance of electrical connectors and sockets used in controlled environment applications”, pp.16-17
- [3] 產品設計規範 (內部文件)
- [4] Customer specification