

Abaqus 與公差分析之整合與應用

李佳諺、賴劭岡、陳宣豪
慶良電子股份有限公司

摘要

連接器在設計生產前，由於更改設計需要耗費大量資源及成本，所以在設計連接器時，通常都會使用 CAE 結構分析軟體(例如 ABAQUS)模擬分析產品的結構相關性質，以確定其功能性能符合產品的需求，其效能可通過產品的規範。

但連接器製造存在公差問題，當連接器做組裝或相互配合時，可能發生的現象為連接器圖面設計值有限元素分析結果無論於組裝或功能性皆無問題，實際產品卻因尺寸公差疊加導致無法配合甚至喪失功能性等問題。

為了解決上述問題，本文整理公差分析與有限元素分析兩種方法以解決產品尺寸公差衍生之問題。

關鍵字：公差、連接器、公差疊加。

ABSTRACT

Due to design changes spend a lot of resources and costs, the CAE software modeling structure related (for example, ABAQUS) is used to predict the structural behavior to determine its performance with the product function needs and its performance is confined to specifications requirement before designing the connectors.

However, there are tolerances problem when manufacturing connectors. As connector assembling, the phenomenon may occur is in finite element analysis results are pass, but the actual product is NG by the tolerance stack-up.

To solve this problem, we organize tolerance analysis and finite element analysis of two methods to solve the problem derived from the product tolerance stack-up.

Keywords: tolerance, Connector, Moldflow, tolerance stack-up

一、前言

公差的概念源自於零件互換性的觀念，為規範零件製造尺寸變異範圍，定義此範圍的主要原因除了確保零件本身的功能性外，也必須使組裝後之成品滿足功能上的需求，故零件之間的功能與組裝配合應該在設計製造階段中列入考量，如此工程圖上標示之公差才具有意義。

早期公差設計是以支援設計者之需求為主，重點在於支援大量生產模式下零組件的互換性，但近年來隨著生產技術的進步以及生活水準的提高，消費者越來越在乎產品的品質，對於其性能也越來講究，使公差設計的重點漸漸偏於性能取向，再加上 3C 產品不斷的要求輕、薄、短、小，公差的訂定也越來越嚴格，製造上的難度也相對提高。

常用的公差設計方法有實驗式公差設計法及數學模式公差設計法；實驗式公差設計法為透過實際實驗數據針對設計參數變動，探討其對於功能性之影響以決定最佳設定之公差，例如田口式實驗法。數學模式公差設計法則是透過系統化之方法，以數學模式分析設計參數之變動對於產品功能之影響，最後透過敏感度分析決定最佳公差之設定。[1]

二、公差概述

2.1 尺寸公差

一般所稱的公差，通常是指尺寸公差。大致上可分為線性尺寸公差、角度尺寸公差、直徑或半徑公差三種，尺寸公差使加工產出後之產品在長度、傾角或直徑等公差必須在制定的尺寸公差範圍內。但對於工程面來說，光是訂定尺寸公差還是不足以規範產品，故需要定義幾何公差來彌補其不足。

2.2 幾何公差

幾何公差又可分為形狀公差及位置公差。位置公差又可細分為定位類公差、方向類公差與偏轉類公差；而形狀公差也包括輪廓類公差。其種類細分介紹如表 1。[2]

三.公差分析

公差分析的目的主要在於探討設計一組合匹配之工件或產品，其公差變動的模式。公差分析模式的優劣取決於其分析預測之結果公差與實際組件之公差能吻合，其公差分析的模式有下列幾種：

- 1.極限模式(Worst Case Model)
- 2.統計模式(Statistical Model)
- 3.史波特修正模式(Spott's Modified Model)
- 4.修正統計模式(Modified Statistical Model)
- 5.均值偏移模式(Mean Shift Model)
- 6.蒙地卡羅模式(Monte Carlo Model)
- 7.動差模式(Moment Model)
- 8.混合模式(Hybrid Model)

較常用的模式為極限模式(Worst Case Model)與統計模式(Statistical Model)。本研究採用之範例為一 Board to Board connector 公母端之配合為例，探討所有會影響公母端端子接觸點干涉量之尺寸，當其尺寸變異時，對干涉量增減所造成之影響，如正向力是否足夠，插拔力是否合乎規範，是否造成其他組裝上甚至使產品喪失功能性等問題。[3]

3.1 極限尺寸公差分析

以工程圖尺寸為主，將影響干涉量之尺寸做極限尺寸公差標注。如圖一。

將工程圖尺寸定義成一封閉尺寸鏈。如圖二。

以尺寸鏈規則定義公差以利於計算如表二。

1-2 端子全長

2-3 組裝生成的尺寸，當端子組裝時緊貼外側有最大值 $0.09_{-0.01}^{+0.005}$ ，而緊貼內側時有最小值 $0.08_{-0.01}^{+0.01}$ ，合併改寫為 $0.08_{-0.01}^{+0.015}$ 。

3-4 膠芯由對稱線對稱，探討的尺寸為標注的二分之一，即 $(3.44_{-0.01}^{+0.01}) / 2 = 1.72_{-0.005}^{+0.005}$

4-5 公端尺寸為對稱尺寸的二分之一，即

$$(2.34_{-0.02}^{+0.02}) / 2 = 1.17_{-0.01}^{+0.01} \text{。}$$

5-6 端子前端凸點的尺寸 $0.02_{-0.01}^{+0.01}$ 。

6-1 公母對插後的干涉量，正值為不干涉，負值為干涉。[4]

基本尺寸:

$$L_o = \sum_{i=1}^m \xi_i L_i$$

$$(-0.72)+0.08+1.72+(-1.17)+(-0.02)=-0.11$$

公差:

$$T_{OL} = \sum_{i=1}^m |\xi_i T_i$$

$$T_{max}=0.01+0.015+0.005+0.01+0.01=0.05$$

$$T_{min}=0.02+0.01+0.005+0.01+0.01=0.055$$

$$\text{干涉量}=0.11_{-0.055}^{+0.05}$$

3.2 統計尺寸公差分析

由於實際製造面存在公差問題，以實際生產製造的角度來看零件幾何尺寸與形狀之誤差來自於製程的變異，因此設計公差時所訂定的區間也按照製程的能力訂定，其分佈即呈現常態分布。另外公差設計與分析時需要許多資料用為判斷的依據，其中有大部分是來自於製程端與市場端，這些資料往往也是以統計分布呈現，通常也以統計的概念分析。

一批產品的尺寸資料特性也可使用平均值與標準差的特性來表示。亦即適當的取樣統計可反應出整體的統計特性，因此統計品管的資料也可以做為公差分析的參考依據。

基本尺寸:

$$L_o = \sum_{i=1}^m \xi_i L_i$$

$$(-0.72)+0.08+1.72+(-1.17)+(-0.02)=-0.11$$

公差:

$$T_{OL} = \frac{1}{k_o} \sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_i^2 k_i^2 T_i^2}$$

Tmax

$$= \sqrt{(0.01)^2 + (0.015)^2 + (0.005)^2 + (0.01)^2 + (0.01)^2}$$

$$= 0.022$$

Tmin

$$= \sqrt{(0.02)^2 + (0.01)^2 + (0.005)^2 + (0.01)^2 + (0.01)^2}$$

$$= 0.027$$

$$\text{干涉量}=0.11_{-0.027}^{+0.022}$$

四. ABAQUS 分析

4.1 極限尺寸公差有限元素分析

連接器之組裝配合無法單以 ABAQUS 結構分析軟體預測異常狀況之配合。因此，本研究將整合公差分析之概念和結構分析軟體 ABAQUS 進行分析，首先以公差分析之觀念整理出最大及最小尺寸配合，以及形狀與位置公差造成之形狀變異配合，再以 ABAQUS 分析公差數學分析後所得之各尺寸圖面，模擬實際生產製造時可能會遇到之配合問題。

因產品生產要求只要分布在公差範圍內，無論公端與母端之端子尺寸如何變異，產品皆需要保有功能性並符合規範，故在此案例使用極限公差分析之結果做有限元素分析。

連接器公母端之配合:本研究之邊界條件設定方式則採用不考慮膠芯之變形量，以及公端端子之變形量，假設連接器公端接觸部分為剛體，而母端端子為柔體，固定刺刺部分，膠芯接觸面為剛體之邊界條件。

分析結果如下:

最大干涉量 0.165 mm 公母端組裝至定位分析結果如圖三。

最大干涉量 0.165 mm 公端拔出後母端降伏分析結果如圖四

最小干涉量 0.06 mm 公母端組裝至定位分析結果如圖五。

最小干涉量 0.06 mm 公端拔出後母端降伏分析結果如圖六。

小結:

此 Board to Board connector 於最大干涉量 0.165 mm 時公母端配合可能會發生垮 PIN 問題；此 Board to Board connector 於最小干涉量 0.06 mm 時公母端配合可能會發生母端端子被拖出膠芯之問題。

4.2 極限位置公差有限元素分析

此部分僅討論彈臂折彎角度之形狀公差最大與最小時對分析結果之影響。

分析結果如下:

最大折彎角度公母端組裝至定位分析結果如圖七。

最大折彎角度公端拔出後母端降伏分析結果如圖八。

最小折彎角度公母端組裝至定位分析結果如圖九。

最小折彎角度公端拔出後母端降伏分析結果如圖十。

小結:

此 Board to Board connector 於最小折彎角度時公母端配合可能會配合異常問題；此 Board to Board connector 於最大折彎角度時公母端配合情形良好，故可得知，再定義此形位公差時，應走正公差。

五、結論

有限元素在工程上的分析應用方面，是更加多元化的，以往單一探討有限元素分析已無法預見目前工程上所面臨的問題，需考慮到製程與製造面所帶來的變異，例製造公差分析。故周詳的思考有限元素分析與實際的差異是非常重要的。[5]

本文先以公差分析之結果作為 ABAQUS 分析初始設定以模擬連接器公母端配合因製造公差導致之異常現象。而得到以下的結論:

1. Board to Board connector 公母端配合於最大干涉量 0.165 mm 時公母端配合可能會發生垮 PIN 問題。
2. Board to Board connector 公母端配合於最小干涉量 0.06 mm 時可能會發生母端端子被拖出膠芯之問題。
3. Board to Board connector 於最小折彎角度時公母端配合可能會配合異常問題。
4. Board to Board connector 於最大折彎角度時公母端配合情形良好。

經由上述之結論，若要改善公母配合問題，其方法有三：

- 根據配合異常的結果，可按照其異常之部分做設計變更，如：彈臂之長度、形狀、干涉量等。
- 依照配合良好之結果，重新定訂公差，如：彈臂的折彎角度採正公差等。
- 縮減公差，但此方法將造成製造上的困難。

六、未來展望

未來可更進一步模擬各部分形位公差與尺寸公差相互影響之結果，相信此種分析有相當之精確度，便能更進一步達到預測各種配合異常問題之目的。

七、參考文獻

- [1] 蔡志成 “公差設計”
- [2] 汪 愷 “形狀和位置公差”
- [3] 蔡彰文 “公差分析應用”
- [4] 方昆凡 “公差配合實用手冊”
- [5] 蔡彰文 “公差調和模式-田口方法的應用”

八、表格

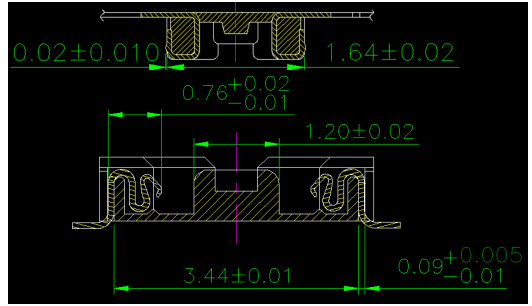
| | | |
|-------|-------|--------|
| 尺寸公差 | 尺寸類公差 | 線性尺寸公差 |
| | | 角度尺寸公差 |
| 幾何公差 | 形狀類公差 | 圓柱度 |
| | | 真圓度 |
| | | 真平度 |
| | | 真直度 |
| | 位置類公差 | 位置公差 |
| | | 距離公差 |
| | | 同心度 |
| | | 對稱度 |
| | 方向類公差 | 傾斜度 |
| | | 垂直度 |
| 平行度 | | |
| 偏轉類公差 | 偏轉度 | |
| | 圓偏轉度 | |
| 輪廓類公差 | 曲面輪廓度 | |
| | 曲線輪廓度 | |

表 1 公差種類表

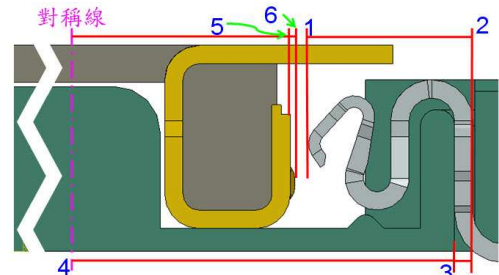
| 編號 | 增/減環 | 尺寸 | 公差 |
|-----|------|------|------------------|
| 1-2 | (-) | 0.72 | +0.02 -0.01 |
| 2-3 | (+) | 0.08 | +0.015 -0.01 |
| 3-4 | (+) | 1.72 | +0.005 -0.005 |
| 4-5 | (-) | 1.17 | +0.01 -0.01 |
| 5-6 | (-) | 0.02 | +0.01 -0.01 |

表 2 尺寸公差表

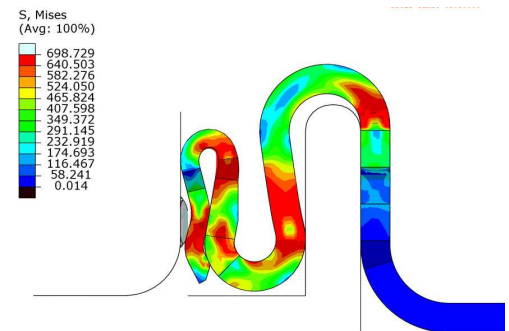
九、圖片



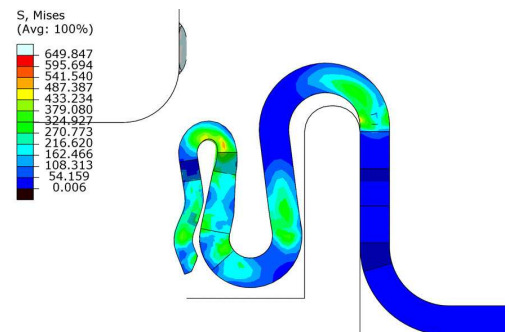
圖一 工程尺寸圖



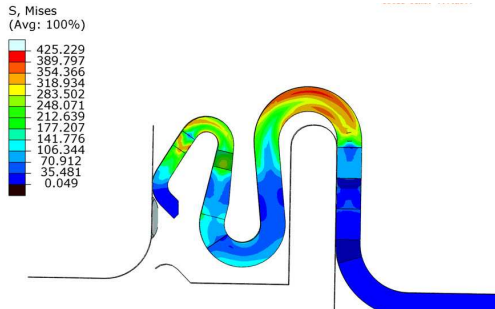
圖二 尺寸鏈尺寸定義圖



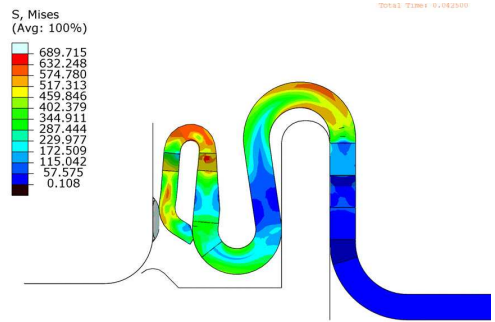
圖三 干涉量 0.165 mm 公母端組裝至定位圖



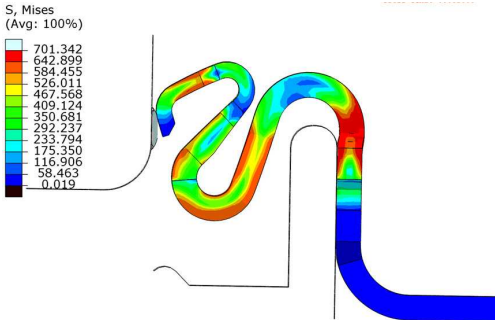
圖四 干涉量 0.165 mm 公端拔出後母端降伏分析結果圖



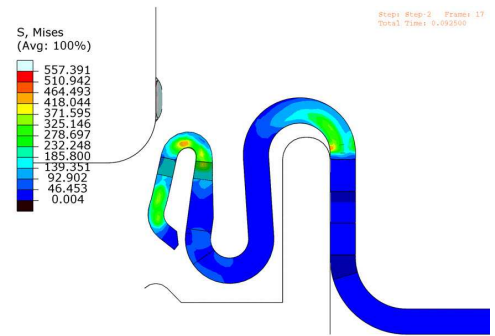
圖五 干涉量 0.06 mm 公母端組裝至定位圖



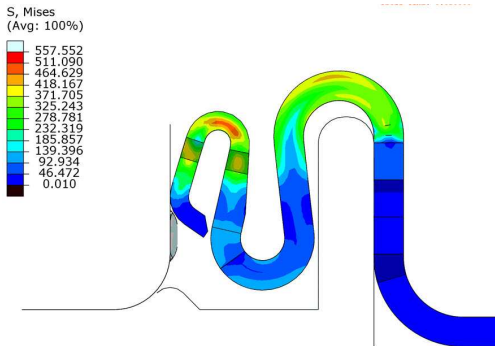
圖九 最小折彎角度公母端組裝至定位分析結果圖



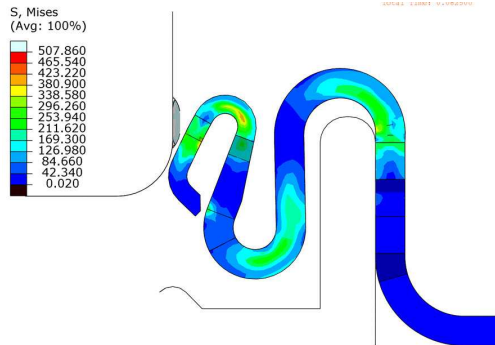
圖六 干涉量 0.06 mm 公端拔出後母端降伏分析結果圖



圖十 最小折彎角度公端拔出後母端降伏分析結果圖



圖七 最大折彎角度公母端組裝至定位分析結果圖



圖八 最大折彎角度公端拔出後母端降伏分析結果圖