

應用 Abaqus 於球閥組裝應力分析

蔡起源, 張祐誠

財團法人車輛研究測試中心

摘要

本文主要藉由有限元素法軟體Abaqus探討浮動式閥球之設計公差對閥球與閥座組裝於閥體後, 受到管內液體壓力之閥座應力分佈、閥球與球座接觸面積的影響。文中亦針對製造公差所造成的接觸壓力與接觸面積不足的情況提出設計改善方案。

關鍵字：球閥、有限元素法、公差

一、緒論

閥在工業的應用上非常廣泛, 舉凡與管路輸送相關皆需要使用, 如石化工廠輸送石化產品, 天然氣; 食品工廠輸送自來水或產品。在工廠中閥雖小但是卻舉足輕重, 因為閥若失效, 輕則財物損失, 重則危及人員生命安全。

閥有各式各樣的型式如開閥、針閥、塞閥與球閥等等, 然而所有閥類皆需要面臨輸送物體是否有洩漏的可能性。一般球閥類皆採用密封構造來防止洩漏發生, 藉由密封元件受力變形, 以填補接觸面縫隙的方式達到密封的目的。然而此受壓的密封元件容易因為時間的累積而發生應力鬆弛或因溫度的影響而老化; 或因不斷的開/關而磨損或液壓反覆的施加而失去彈性, 造成密封元件功能漸漸失效而發生洩漏。

一個較佳的閥座設計應有足夠的接觸壓力與接觸面積且有較小的接觸應力藉由有限元素分析可使設計人員快速地獲得閥座應力分佈、閥球與球座的接觸面積與接觸壓力, 以評估設計的優劣, 並為後續的預壓鬆弛、循環負載與磨耗鬆弛等分析/試驗研究提供分析資料。

二、浮動式球閥簡介

2.1 球閥簡介

閥是管路系統的重要元件之一, 其功能為對管路系統進行開/關、調整流量、改變流向、防止逆流與控制流體壓力等功能, 而球閥為各式閥類型式的一種, 其主要功能為

對管路系統進行開/關。本文分析的閥球結構為浮動式結構, 構造如圖 1 所示。其構造之受力情形為, 開始時閥球置於閥體內並未受到閥體或閥桿的拘束, 組裝時, 緊迫環向前擠壓上游閥座, 閥球即受到上、下游閥座的夾制, 當球閥關閉且承受管內之液體壓力時, 閥球將因液壓壓力而向下游閥座推擠, 如此下游閥座將更加緊迫, 下游閥座之洩漏可能性降低, 但此時上游閥座將因閥球的位置而有變形放鬆的情況。

三、有限元素分析模型

3.1 元素大小選擇

閥球與閥座的接觸面為一圓弧面, 但是經過網格離散化後其接觸面將不再平滑, 此不平滑的現象將影響分析的精度, 為了能夠快速獲得分析結果但又不失分析結果的精確度, 本文先針對 2mm、1mm 與 0.5mm 這 3 種元素大小進行接觸面積的收斂性分析。分析模型如圖 2 所示, 各零件的材料性質如表 1, 分析時閥座底部固定並將閥球往閥座推擠 0.2mm, 各元素大小的接觸面積分析結果如表 2 所示, 由表 2 可知接觸面積與接觸應力皆往 0.5mm 元素的方向收斂, 其中當元素大小為 1mm 時接觸面積已經與元素大小為 0.5mm 相當, 表示接觸面積已經收斂, 為了不使分析時間過長後續的分析將使用 1mm 大小的元素。

3.2 分析模型說明

為了簡化分析將分析模型簡化成閥體、

閥球、閥座與緊迫環等 4 個零件，如圖 3 所示。分析分為 2 個步驟，各步驟的分析時間皆為 1 個時間單位，第 1 步模擬球閥與閥座的組裝狀態，因為實際上閥球與閥座在設計上是干涉配合，因此分析時將緊迫環往閥球方向擠壓 0.2mm，以代表閥球與閥座組裝後所受到的干涉狀態。第 2 步模擬閥球關閉時，閥球受到 5Mpa 液壓將閥球向下游閥座推擠的過程。

3.3 球閥分析

本文分析兩組同型的球閥，其差異為閥座與閥體組裝後的緊密程度不同，A 球閥的閥座與閥體有 0.17mm 的間隙；B 球閥的閥座與閥體為密合無間隙。

圖 4~圖 8 為 A 球閥閥座與閥球的接觸面積、接觸應力與接觸壓力等分析值，各項數據統計於表 3；圖 9~圖 13 為 B 球閥閥座與閥球的接觸面積、接觸應力與接觸壓力等分析值，各項數據統計於表 4。

比較表 3 與表 4 可知當閥座與閥體間無製造公差時其接觸面積可比閥座與閥體間有組裝縫隙大約 1.7 倍；於步驟 1，上、下閥座接觸壓力大 2 與 1.5 倍，上、下閥座應力大 1.4 與 1.2 倍。於步驟 2，上、下閥座接觸壓力大 21.5 與 1.1 倍；上、下閥座應力大 9 與 0.9 倍。

經過比對後可得製造公差對於球閥的效能有重大影響，當緊密配合時接觸面積與接觸壓力皆可提升，尤其是對上游閥座而言，而閥座應力變大卻相對有限。另外公差對上游閥座的影響比對下游閥座的影響更大，尤其是當球閥關閉時，若組裝預壓不足則上游閥座與球閥可能分離，為克服此問題，雖然可加大預壓量，但是此舉也造成下游閥座應力變大，不利於球閥的使用壽命。

四、閥座設計改善與分析

由於公差無法避免，因此本文提出新閥座外型設計，希望此新閥座外型可以提供較大的接觸壓力與接觸面積，同時有較小的閥座應力。

圖 14 為新式閥座斷面，新式閥座與閥體/緊迫環的接觸面由直角改為圓角，此圓角形狀可進一步壓迫受緊迫環或閥球擠壓的變形材料，使得閥座更加貼合閥球，也使

得密封面更加緊密。

為驗證此設計分別採用 4 組模型 C、D、E 與 F，其中 C 與 D 模型採用舊式閥座設計，C 模型的閥座與閥體保持一 0.17mm 的公差，D 模型無此縫隙；E 與 F 模型採用新式閥座設計，E 模型的閥座與閥體保持一 0.17mm 的公差，F 模型無此縫隙。

驗證球閥設計好壞可僅考慮上、下游閥座受緊迫環擠壓的情況而不考慮閥球關閉時閥球推擠下游閥座與放鬆上游閥座的情況，則分析模型可再簡化為閥體、閥球與下游閥座，如圖 15 所示，其邊界條件為閥體底部固定，並施加 0.2mm 位移於閥球使閥球擠壓閥座。圖 16 至圖 23 為分析模型 C、D、E 與 F 的分析結果，各項數據統計於表 5。

由表 5 可知當球閥組裝後在有縫隙的情況下新式閥座可比舊閥座提高將近 2 倍的接觸壓力與 1.78 倍的接觸面積，然而閥座應力只提高 1.3 倍。在無縫隙的情況下新式閥座可比舊閥座提高 1.1 倍的接觸壓力與維持相同的接觸面積，而閥座應力可降低 0.27 倍。觀察各設計的接觸壓力可發現模型 D、E 與 F 的閥座皆可在與閥球接觸面的上下緣產生較高的接觸壓力，如此可避免管內流體進入密封面，進而磨損密封面而導致洩漏的發生，因此新式閥座有較佳的效能。

五、結論與未來展望

本文利用改變閥座受擠壓後的變形方向而使得閥座與閥球可產生較佳的密封面，綜合上述比較可發現新式閥座可比舊式閥座形成較佳的密封面。

造成閥洩漏的可能原因有許多種，但是不管其原因為何皆與接觸壓力、接觸面積與閥座應力有重大關連，計算這些數據可幫助設計人員判斷設計的好壞，如可再獲得材料受壓後的應力鬆弛條件、材料受循環負載應力與應變的關係、材料在不同的溫度下其機械性質與材料磨耗等資訊，則可進一步設計出效能更佳與壽命更長的球閥。

六、參考文獻

[1] ABAQUS Keywords Reference Manual

七、表格

| | | | |
|------------------------|---------|---------|--------|
| 零件 | 閥體 | 閥球 | 閥座 |
| 密度(g/cm ³) | 7.85-e9 | 7.85-e9 | 2.2-e9 |
| 楊氏系數(MPa) | 205000 | 205000 | 550 |
| 降服強度(MPa) | 180 | 180 | 40 |
| 波松比 | 0.3 | 0.3 | 0.46 |

表 1 材料表

| | | | |
|------------------------|-----|-----|-------|
| | 2mm | 1mm | 0.5mm |
| 接觸面積(mm ²) | 441 | 663 | 663 |

表 2 接觸面積

| | | |
|--------------------------|------|------|
| | 上游閥座 | 下游閥座 |
| 步驟 1 | | |
| 最大接觸面積(mm ²) | 357 | 355 |
| 最大接觸壓力(Mpa) | 10 | 13 |
| 最大閥座應力(Mpa) | 8 | 10 |
| 步驟 2 | | |
| 最大接觸面積(mm ²) | 355 | 359 |
| 最大接觸壓力(Mpa) | 0.65 | 22 |
| 最大閥座應力(Mpa) | 0.75 | 17 |

表 3 A 球閥分析值

| | | |
|--------------------------|------|------|
| | 上游閥座 | 下游閥座 |
| 步驟 1 | | |
| 最大接觸面積(mm ²) | 632 | 633 |
| 最大接觸壓力(Mpa) | 20 | 20 |
| 最大閥座應力(Mpa) | 11 | 12 |
| 步驟 2 | | |
| 最大接觸面積(mm ²) | 630 | 634 |
| 最大接觸壓力(Mpa) | 14 | 25 |
| 最大閥座應力(Mpa) | 7 | 16 |

表 4 B 球閥分析值

| | | | | |
|------------------------|------|------|------|------|
| | 分析模型 | | | |
| | 舊式閥座 | | 新式閥座 | |
| | 有縫 | 無縫 | 有縫 | 無縫 |
| 分析項目 | C | D | E | F |
| 閥座應力(MPa) | 15.4 | 31.5 | 20.4 | 23.0 |
| 接觸壓力(MPa) | 19.3 | 64.9 | 38.3 | 74 |
| 接觸面積(mm ²) | 359 | 638 | 639 | 637 |

表 5 C、D、E 與 F 分析模型數據統計表

八、圖片

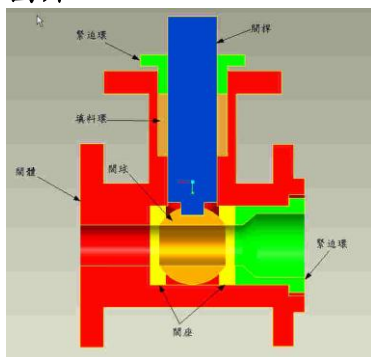


圖 1 球閥半剖面示意圖

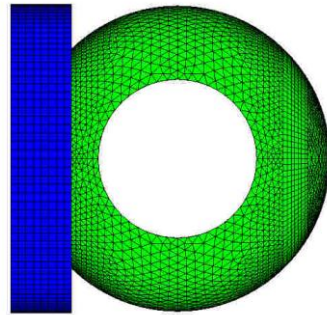


圖 2 收斂分析 CAE 模型

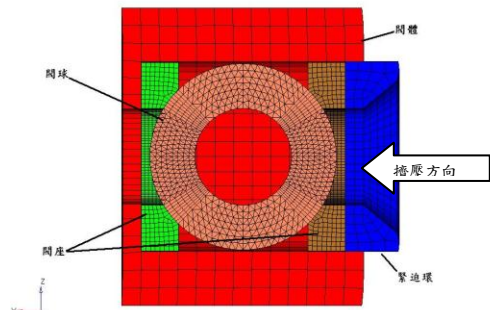


圖 3 球閥 CAE 模型

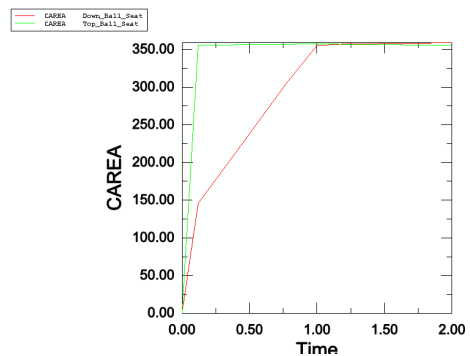


圖 4 A 球閥閥座與閥球的接觸面積

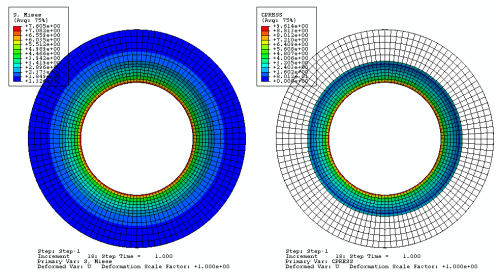


圖 5 A 球閥上游閥座應力/壓力圖(步驟 1)

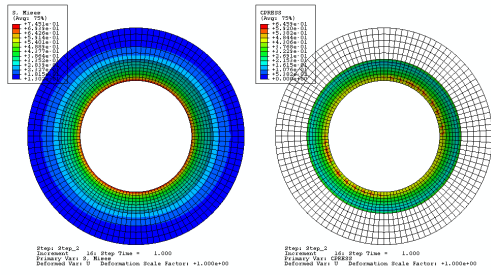


圖 6 A 球閥上游閥座應力/壓力圖(步驟 2)

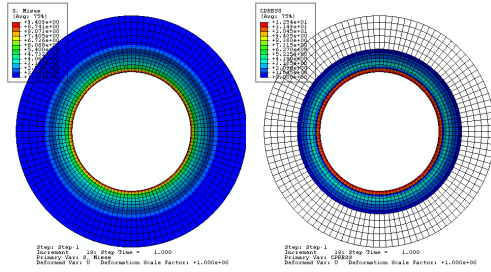


圖 7 A 球閥下游閥座應力/壓力圖(步驟 1)

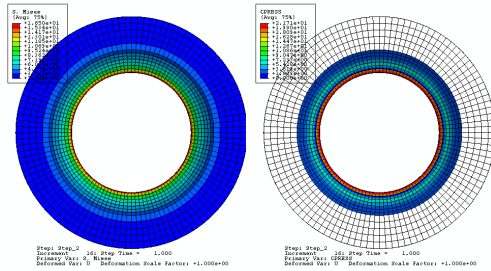


圖 8 A 球閥下游閥座應力/壓力圖(步驟 2)

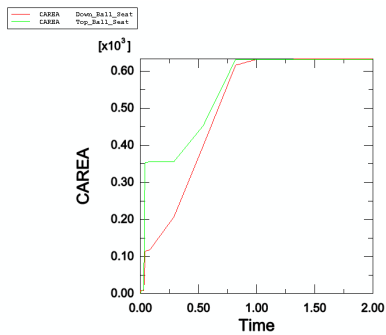


圖 9 B 球閥閥座與閥球接觸面積

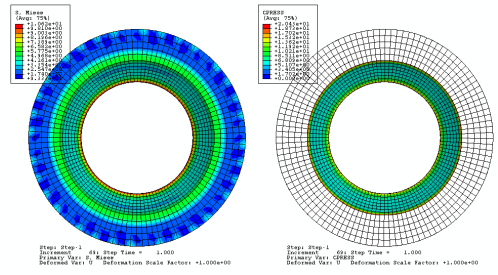


圖 10 B 球閥上游閥座應力/壓力圖(步驟 1)

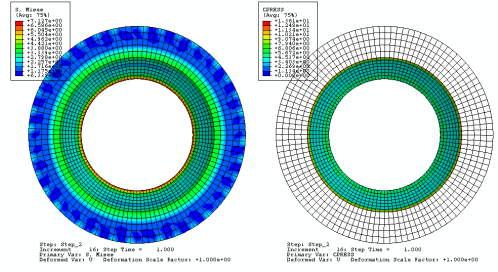


圖 11 B 球閥上游閥座應力/壓力圖(步驟 2)

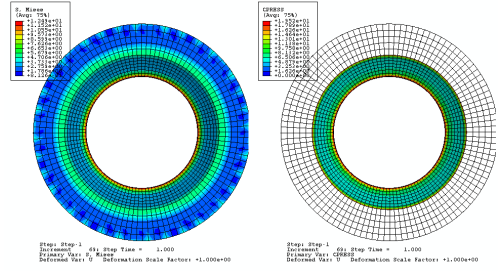


圖 12 B 球閥下游閥座應力/壓力圖(步驟 1)

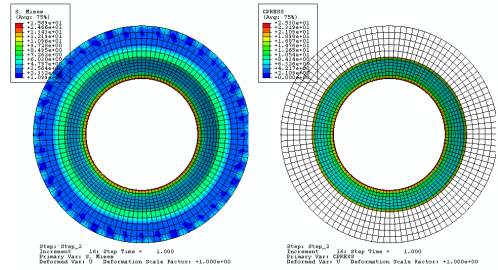


圖 13 B 球閥下游閥座應力/壓力圖(步驟 2)

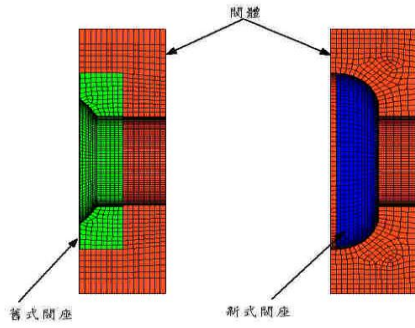


圖 14 新閥座設計

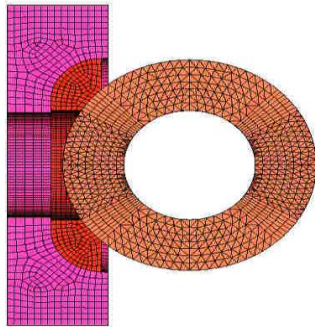


圖 15 簡化分析模型剖面圖

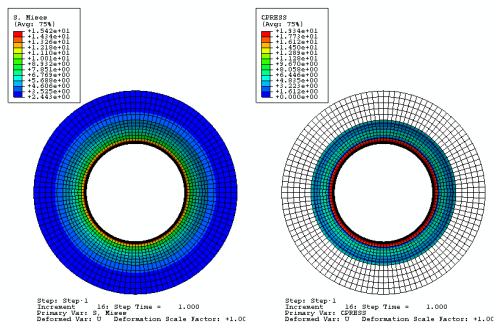


圖 16 C 模型閥座應力與接觸壓力分步圖

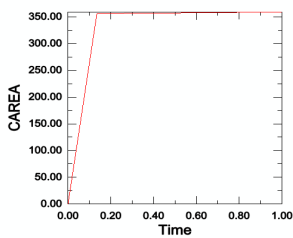


圖 17 C 模型接觸面積曲線圖

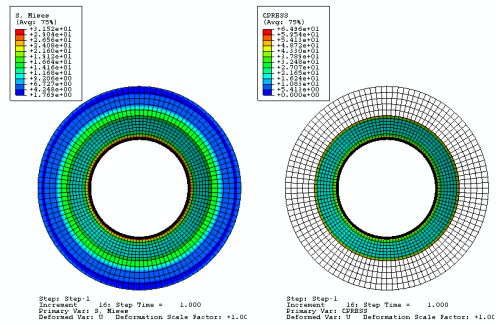


圖 18 D 模型閥座應力與接觸壓力分步圖

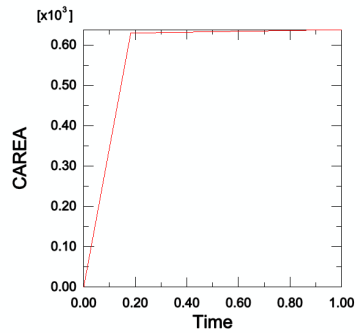


圖 19 D 模型接觸面積曲線圖

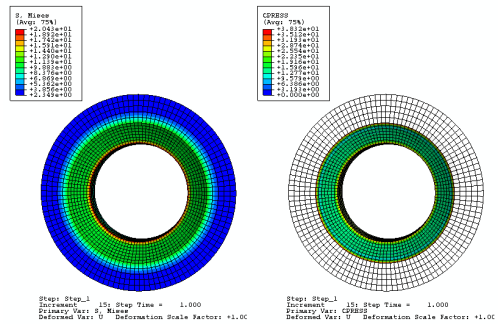


圖 20 E 模型閥座應力與接觸壓力分步圖

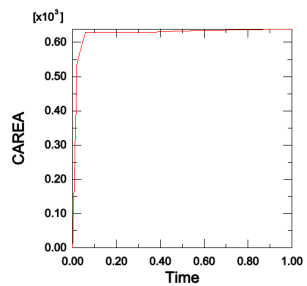


圖 21 E 模型接觸面積曲線圖

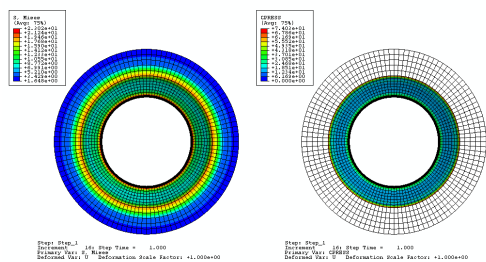


圖 22 F 模型閥座應力與接觸壓力分步圖

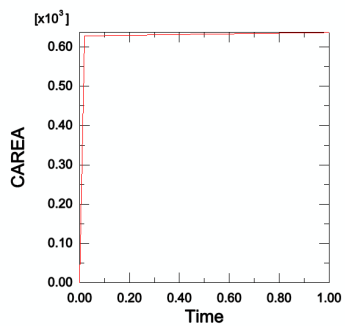


圖 23 F 模型接觸面積曲線圖