

結合 CFD(STAR-CCM+)軟體計算引擎水泵葉片應力

范詔欽, 謝哲璋, 楊青松

華擎機械 引擎設計部 引擎數值分析組

摘要

引擎水泵為引擎冷卻系統中一項重要的零件，其設計良莠關係到冷卻系統對引擎的散熱效果，又因其的驅動方式為以曲軸透過附件皮帶來帶動，故運轉效率對引擎輸出功率的消耗有相當程度的影響，進而間接影響整車油耗。

本文即是探討將現有一量產引擎水泵其葉片原設計採用鈹金成型方式製造。雖然有強度較高的優點，但是其葉片無後掠(backward-swept)容易產生空蝕且效率不佳等缺點，故將設計變更為有後掠之葉形同時變更材料為塑膠，降低零件重量與成本以提升水泵效率與改善油耗。

分析手法為利用Abaqus簡單方便的surface定義功能透過CFD功能強大的STAR-CCM+先計算出水泵流場內的壓力邊界，然後將其壓力計算結果匯出對應到Abaqus的結構網格上，以計算葉片上的受力狀況，並與材料的特性進行比較以評估零件之耐久性。此種流場與結構耦合的分析結果可做為設計變更之參考。

關鍵字：引擎水泵、葉片、壓力邊界、耦合

ABSTRACT

Water pump was driven by crankshaft via belt is the important part in engine coolant system. Whose efficiency is significantly affected power output and fuel economy of engine. This paper is to show the coupling analysis by fluid dynamics (STAR_CCM+) and Stress analysis (Abaqus). Focusing on improve analysis on a production water pump impeller made by sheet metal which has a better strength, but may cause cavitation due to flat impeller and low efficiency design.

Using the plastic material and a backward-swept type in the impeller design can improve efficiency and fuel economy. And also a light weight and low cost design can be attained.

Initial calculation is using STAR-CCM+ to calculate the water pump flow field, and mapping the pressure boundary from velocity field to impeller as an initial stress condition in mapping surface in Abaqus. By doing the file-based coupling analysis, the stress condition from Abaqus can be useful information in pump design.

Keywords: engine water pump, impeller, pressure boundary, coupling, STAR-CCM+,

一、緒論

傳統的水泵葉片多採用鈹金成型，其製造工法簡單容易量產，但缺點是葉片形狀不易做成後掠形式，流體容易在葉片尾端形成分離流，造成水泵效率不佳。另外在葉片後方易形成低壓區，可能有空蝕的現象產生破壞水泵本體。將葉片改為後掠形並變更材質為塑膠，同時達到提升效率以及降低重量與

成本的效益。

因為塑膠的材質強度較低，故葉片的應力成為考量的重點之一。

二、流場計算

在計算葉片應力前須先有葉片表面受力的邊界條件。本文採用 STAR-CCM+計算水泵的流場，邊界條件參考實驗室數據，

Pump 轉速 6000 rpm，入口溫度 85°C，質量流率 2.239 kg/s，計算結果其速度與壓力分佈如圖 2、3 所示。

圖 4 為葉片表面上的壓力分佈，最大壓力約 345.7 kPa。在 STAR-CCM+ 中可以直接匯入 Abaqus 所建立的 CAE model。當中所包含的 surface 設定即可與 STAR-CCM+ 的結果作映射。

三、Abaqus 模型建立

在 Abaqus 中匯入葉片零件，選取表面設定 surface，此 surface 即是要接收壓力邊界數據的範圍。

葉片材質使用 PA66+30%GF，其材質特性參考表 1。其他相關設定完成後將計算 model 寫出 inp 檔，後續由 STAR-CCM+ 讀入 inp 取出映射面(mapping surface)。完成映射的壓力分佈如圖 5。映射的 surface 網格密度與映射範圍可以不同，在 Abaqus 中可以根據需求劃分網格密度。

完成映射的壓力邊界利用 Abaqus 的 include 指令加入原 inp 檔中，如下：

```
**  
*Include, input=mappedPressure.inp  
**  
*End Step
```

修改後的 inp 檔即是包含流場壓力邊界的計算 model。

四、計算結果

計算結果如圖 6、7 所示。應力分布集中在旋轉軸根部至葉片前緣這一圈範圍。每個葉片的根部也有少許的應力集中，反應出水泵葉片工作時的受力狀況。整個葉片中最大應力 32.8MPa，位於葉片末端，約為材料抗拉強度的 1/3，故判定符合運轉工況的需求。

五、結論與未來展望

本篇報告之計算手法屬流固耦合計算中最簡單的順序耦合作法，對於一些單純的流固耦合計算不需複雜的設定即可達到模

擬計算的需求。可於短時間內了解零件於流體內轉動之應力分布，未來可運用於較複雜的系統進行熱固耦合計算，如模擬引擎燃燒室內之燃燒氣體對於汽缸頭氣缸體以及排氣系統之熱固耦合分析，利用熱流分析軟體與 Abaqus 之交互疊代計算以計算出缸頭缸體同時承受燃燒及應力交互作用下之應力。

Abaqus 也同時具備與 STAR-CCM+ 即時全耦合計算的功能(co-simulation)，未來可運用這些功能讓模擬更貼近真實狀況，做到虛擬驗證的目標。

六、參考文獻

- [1] Abaqus/CAE User's Guide
- [2] STAR-CCM+ User's Guide

七、表格

	PA66+30%GF
密度	1.29e-6 kg/mm ³
楊式係數	4650 MPa
蒲松比	0.38
抗拉強度	93.1 MPa
抗壓強度	124 MPa

表 1. 葉片材質特性

八、圖片



圖 1. 鋁金成型葉片

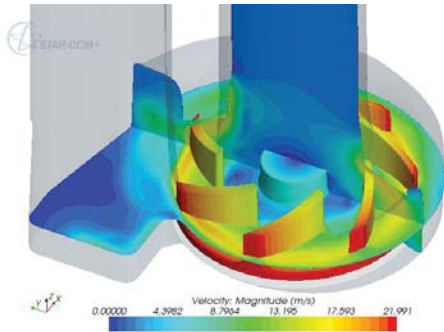


圖 2. 水泵速度場

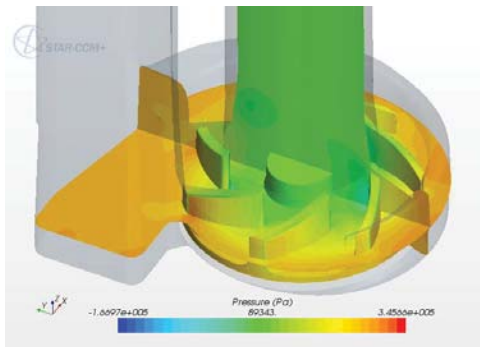


圖 3. 水泵壓力場

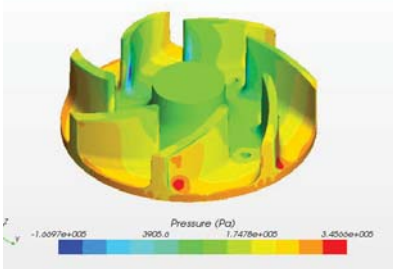


圖 4. 葉片表面壓力分佈

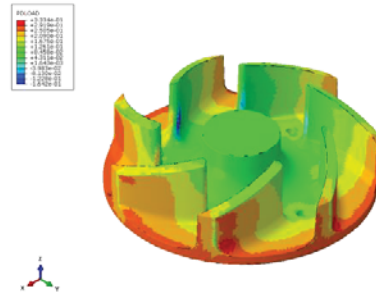


圖 5. 映射至 Abaqus 結構網格上的壓力分佈

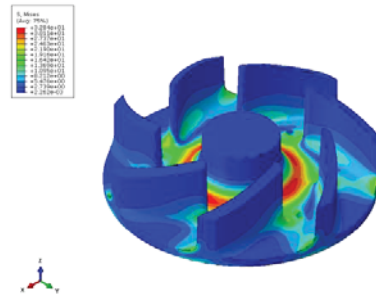


圖 6. 葉片應力分布(一)

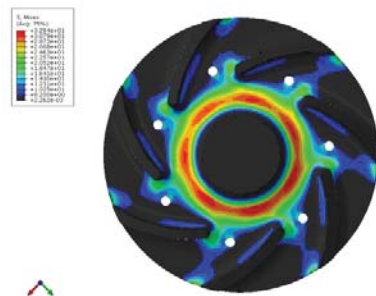


圖 7. 葉片應力分布(二)