

國立中興大學機械工程研究所

碩士論文

指導教授：盧昭暉 博士

渦輪噴射引擎動態模擬

The Dynamic Simulation of Turbo Engines

研究生：許光武 撰

中華民國八十五年七月六日

摘 要

渦輪噴射引擎的動態模擬，是發展引擎控制系統所必需的工具。本研究主要目的是建立一套計算程序，以進行渦輪引擎的動態模擬。一般在進行模擬時，多以簡單模式處理，而本文在單軸渦輪引擎方面，考慮較複雜真實的計算模式，建立了燃燒模式及燃油系統模式。雙軸渦輪引擎方面，則建立了一套引擎系統動態模式。

在燃燒模式裡，本文考慮油滴由噴嘴噴入燃燒室後，到完全燃燒的整個過程，其中包括油滴的輸送、加熱及揮發，以及燃燒時的化學反應。計算結果顯示，引擎系統多考慮燃燒模式時，並未有太大性能改變，只有在油滴揮發時間影響最大。

在燃油系統中，本文則建立包括燃油泵、流量控制閥、燃油輸送管路、燃油噴嘴等，所構成的燃油系統的動態模式，並探討對整個引擎系統的影響。計算結果顯示，考慮燃油系統的動態特性，對引擎動態模擬最主要的影響是不會高估燃燒室出口溫度，至於引擎其他的狀態變數則影響不顯著。

為了因應控制器的即時控制設計，本文分別探討數種縮短計算時間的方法，如積分法、積分時距、降階模式、查表方式及電腦型式等。其中以將系統降階為準一階模式時，可達到即時模擬的要求最佳，如再配合其他改進的方法，則可縮短更多時間。

本文在雙軸渦輪引擎上，則討論其動態特性的變化及模擬計算的時間。計算結果顯示，在穩態性能方面與實際引擎相差不多。在動態計算方面，以Euler法最快，但模擬4sec的變化仍須7.31sec，未達到即時模擬要求。

Abstract

The dynamic simulation of turboengines is a necessary tool for developing the engine control system. The main object of this paper is to establish a model of the dynamic simulation for turboengines. A simple model is often used in proceeding dynamic simulation; however, in this paper, we consider a more complicated model including a combustion model and a fuel system model for single spool turbojet engines. As to the twin spool turbofan engines, we establish the dynamic model and carry out the dynamic simulation.

In the combustion model, we consider the combustion process of fuel drops as they enter the combustor through nozzle, including the transport, heating and evaporation states as well as the combustion reaction. The results of calculation show that the performance of engine system does not change a lot under those considerations. Only the effect of fuel evaporation is significant.

In the fuel system model, we establish a dynamic simulation model including fuel pump, control valve, fuel transport pipe, fuel nozzle, etc., and discuss its influence on the whole engine system. The results of simulation show that if we consider those factors, the temperature of combustor will not be overestimated. However, other state variables of the system are not effected.

To correspond with real-time control design for the controller, we discuss in this paper about several time-saving ways such as integration method, different integrating time-step, reduced model, table-checking as well as different computer types. Among them, the reduced engine model fit best for the requirement of real-time simulation while more time will be saved if it cooperates with other methods.

On twin spool turbo fan engines, we discuss the variation in dynamic property as well as the time for dynamic simulation. The results of simulation show that steady state performance is close to the real engine. As for the dynamic simulation, the Euler method is the quickest way, but it still costs 7.31 sec for the simulation of a time period of 4 sec, which does not fulfill the requirement of real-time simulation.

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
致謝	III
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VII
符號說明	XII
第一章 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 文獻回顧	1
1.3 研究方向	3
第二章 燃燒模式	5
2.1 簡單燃燒模式	5
2.2 油滴燃燒模式	7
2.3 計算結果	15
2.3.1 穩態性能計算	15
2.3.2 動態性能計算	17
(a) 第一種模式	18
(b) 第二種模式	25
2.4 結論	31
第三章 燃油系統	33
3.1 燃油模式	34
3.2 計算結果	38

3.2.1 燃油系統的模擬計算.....	38
3.2.2 引擎本體與燃油系統的模擬計算.....	43
3.3 結論	48
第四章 即時模擬	49
4.1 加快計算速度的方式.....	49
4.1.1 積分法的影響	49
4.1.2 積分時距的影響	50
4.1.3 不同查表方式	50
4.1.4 降階模式.....	51
4.1.5 不同型式之電腦.....	52
4.2 計算結果	53
4.2.1 積分法的影響	53
4.2.2 積分時距的影響	54
4.2.3 不同查表方式	57
4.2.4 降階模式.....	57
4.2.5 不同型式之電腦.....	65
4.3 結論	66
第五章 雙軸渦輪扇引擎之系統模式.....	68
5.1 系統各主要構件之數學模式	69
5.2 動態模擬結果與討論	92
5.3 結論	101
第六章 結論與未來展望.....	103
參考文獻	106
附錄一	109
作者簡歷	117