

報告人: 梁 國 興 日 期: 2009年12月 所屬單位:清華大學/上海交大



- □ 前言
- □ 先進系統模擬 技術介紹
- □ 核四廠系統動態模擬與分析工作平台製作
- 二系統動態模擬與分析工作平台階段性應用 成果
- □結論與建議

AI

- 核能電廠的生命週期可概分為三個階段,即電廠<u>設計,建造</u> 及<u>商轉</u>.先進動態模擬與分析技術目前國際上已廣泛的應 用在核能電廠生命週期的各階段中,特別是新電廠的設計 和建造。
- 應用系統模擬技術可將紙上設計電廠(paper plant),依據 詳細的設計數據,轉換為電腦模擬的數位化電廠(digital plant),以確認各重要系統的細部設計及測試相關系統的 整合,進一步確保新電廠(real plant) 建造及測試的順利 完成,以降低建廠的風險和成本。
- 以美國西屋公司AP-1000為例,為能順利完成大陸四部機組 的建造,已委託美國最大的simulation company (GSE),應 用simulation techniques將設計的紙上電廠(paper plant) 先行轉換為電腦數位化電廠(digital plant),經 費約800-1000萬美金。

#### Structure Map of Nuclear System Analysis Techniques







□工程模擬: clock time > problem time

problem time



前 言

□ ALPS工作平台對於核四廠可提供下列多項技術支援:

- 建廠前重要系統設計數據與設計功能驗証(design verification);
- 建廠中系統整合模擬與分析,如飼水系統與飼水控制系統整合測試;
- 建廠中重要控制系統測試與驗証平台
- 商轉前起動測試(start up Tests)事前模擬與分析
- 商轉前異常及緊急操作程序書發展與校驗
- 商轉後系統設計變更模擬與分析
- 商轉後跳機肇因分析與篩選
- 各類型事故動態模擬與分析
  - 極限與一般暫態
  - 特殊事件
  - 設計基準事故
  - 嚴重事故等

#### 核四廠雙RELAP5-3D系統動態模擬與分析工作平台



# 核四廠系統動態模擬與分析工作 平台製作

- 系統動態模擬與分析工作平台的製作完全依據電廠各系統的詳細沒計數據,所採用之電廠設計數據種類至少包括:
  - Project Design Manual
  - System Design Description
  - Data Sheets of System Design
  - Data Sheets of Component Design
  - Mechanical Equipment List: Equipment Design Data
  - Elementary Diagrams & Control Logic Diagrams
  - Hardware/Software Specification
  - Instrument Set Point List
  - P & ID
  - Isometric Diagrams
  - Process Flow Diagram (PFD)
  - Heat Balance Diagram (Thermal Kit)

雙RELAP5-3D系統模擬範圍



# RELAP5反應器系統模式



# RELAP5主蒸汽與汽機系統模式



# RELAP5主冷凝器與主飼水系統模式



NPP4 Simulation Nodings for Condensate and Feedwater Systems

#### Lungmen NPS FWCS Functional Block Diagram



#### Lunamen NPS SBPC Functional Block Diagram





2 MANUAL INDIVIDUAL DID ODEED NOT OMULATED

# **System Model Implementation**

System Implementation

- Component Calibration
  - ◆ FW: CP, CBP, DTRFP, HPHTR, LPHTR
  - MS: T/B governor valves, FWP T/B governor valve, T/B steam extraction P/F, MSIV(3.0-4.5 s)
  - RRS: speed/flow , RIP run back/coast down
  - ♦ RCIS: scram speed (3.5 sec),

SCRRI(145 s/ 40-60 power deduction)



Head vs. Flow

**Power vs. Flow** 

# **System Model Implementation**

Component Calibration: FW HTRs



**Error of Temperature** 

# 主汽機控制閥校正



Fig-4 GVPD vs. STEAM FLOW of EACH GV









# **SCRRI**

#### **RX Power Reduction due to SCRRI (w/o RIP Runback)**







# 系統動態模擬與分析工作平台 階段性應用成果

#### 至目前為止,核四廠系統動態模擬與分析模式共計有下 列多項階段性應用成果:

- 核四廠飼水斷管水流沖放模擬與認証分析
- 核四廠反應器升載飼水泵轉速模擬與分析
- 核四廠FSAR驗証計算
- 核二廠MUR ATWS驗証計算
- 核四廠起動測試暫態模擬與分析
  - > 起動暫態測試(startup tests)事前設計模擬;
  - > 主要控制系統設計驗証與測試(STP simulation);
  - > 起動暫態測試前同步模擬與設定點最佳化分析;
  - > 起動暫態測試期間必要之模擬分析技術支援及測試後必要 trouble shooting協助。

階段性計畫成果應用 - 飼水斷管水流沖放模擬與認証分析-**Break Flow Comparison Comparison of Break Flow Enthalpy** Break Flow Enthalpy [J/kg] Break Flow [kg/sec] - RELAP5-3D - APK PSAR RELAP5-3D - APK PSAR 0Œ -1000 ſ Time [sec]

Time [sec]

皆段性計畫成果應用
-飼水斷管水流沖放模擬與認証分析-

#### **Shell Side Pressure of FW Heaters**

**FW Temperatures out of FW Heaters** 







### 階段性計畫成果應用

-核四廠反應器升載飼水泵轉速模擬與分析-

□ 升載過程中泵運轉組態為 2×2×1 時, TDRFP 轉速變化計算及 轉速提昇以跨越臨界轉速區域方法評估

➡ 當功率提昇至 25% 時, TDRFP 轉速約為 2400 rpm, 開始進入臨界轉速區域



### 階段性計畫成果應用

-核四廠反應器升載飼水泵轉速模擬與分析-

□ 升載過程中泵運轉組態為 2×2×1 時, TDRFP 轉速變化計算及 轉速提昇以跨越臨界轉速區域方法評估

- ➡ 增加 TDRFP 或 CBP 或 CP 之 minimum flow 流量, 可有效提昇 TDRFP 轉速,以跨越臨界轉速區域
- ➡ 臨界轉速區域跨越後,維持調昇之流量控制閥閥位或 minimum flow 流量,可繼續提昇功率至 35%,以準備進行 泵運轉組態轉換 (2×2×1 → 3×3×1)



### 階段性計畫成果應用

-核四廠反應器升載飼水泵轉速模擬與分析-

➡ 經評估減少 CP、CBP 運轉台數,無法有效提昇 TDRFP 轉速,轉速最高僅可提昇至 2558 rpm









**System Pressure** 

**Peak Cladding Temperature** 

## 階段性計畫成果應用 -核四廠起動測試暫態模擬與分析-

### 委託工作目標

執行起動暫態測試 (startup tests) 事前設計模擬,以 確認美國奇異公司 所提供之功率測試 acceptance criteria之正確性

#### 暫態測試案例與初始狀態

Test State	Power (% Rated)	Core Flow (% Rated)
1	25	38
2	50	50
3	75	100
4	80	100
5	90	100
6	100	100

	Test State					
Transient Events	1	2	3	4	5	6
a. Loss of Feedwater Heater				Х	Х	
b. 1 Feedwater Pump Trip						Х
c. 1 RIP Trip			Х			Х
d. 3 RIP Trip			Х			Х
e. Loss Of Offsite Power	х					
f. Turbine Trip		Х	Х			Х
g. Load Rejection			Х			Х
h. Fast Load Winddown						Х
i. Reactor Full Isolation						Х

0

### -核四廠 Load Rejection 起動測試暫態模擬-



### -核四廠Load Rejection起動測試暫態模擬-

![](_page_37_Figure_1.jpeg)

Load Rejection

### -核四Load Rejection廠起動測試暫態模擬-

**GE STAR Prediction** 

ALPS Result

![](_page_38_Figure_3.jpeg)

Load Rejection

## -核四廠Load Rejection起動測試暫態模擬-

![](_page_39_Figure_1.jpeg)

Load Rejection

### -核四廠1FW pump Trip起動測試暫態模擬-

![](_page_40_Figure_1.jpeg)

#### -核四廠1FW pump Trip起動測試暫態模擬-**FW Flow** 88% Feedwater Flow (% Rated) 75% 78% 65%

#### Feedwater Flow (% Rated) Time (s) Time (s)

#### **GE STAR**

**ALPS** 

## -核四廠1FW pump Trip起動測試暫態模擬-

#### Water Level, MS Flow, HPTB Flow, FW Flow

![](_page_42_Figure_2.jpeg)

**I PS** 

![](_page_42_Picture_3.jpeg)

![](_page_43_Picture_0.jpeg)

- 運用advanced simulation techniques協助新建 廠進行設計驗証,系統整合預先測試,乃至於商轉前的 功率測試,已是目前國際的趨勢。適當運用 simulation techniques可充分降低建廠風險和成 本。
- 目前以雙RELAP5-3D為計算核心的核四廠系統動 態模擬與分析(ALPS)工作平台目前已具有相當的成 熟度,在核四廠現階段應可發揮數位化測試平台的 功能,協助核四廠順利完成商轉準備。

![](_page_44_Picture_0.jpeg)

龍門電廠系統動態模擬與分析(ALPS)工作平台後續規劃工作 包括:

- GE STAR Rev. 1平行驗証計算;
- 主要控制系統設計驗証與測試(STP simulation);
- 起動暫態測試前同步模擬與設定點最佳化分析;
- 起動暫態測試期間必要之模擬分析技術支援及測試後必要trouble shooting 協助;
- Unit 2三大控制系統綫上實體測試驗証;
- Unit 2 Start Tests Simulation技術支援;
- 龍門電廠綫上工程用模擬器(living engineering Simulator)製作(含嚴重 事故)。

# 2008-2009兩年內發表相關SCI論文

- Chung-Yu Yang, Thomas K.S. Liang, et al., "Development and Application of a Dual RELAP5-3D Based Engineering Simulator for an ABWR," Nuclear Engineering and Design, 239(2009)1847-1856.
- Thomas K.S. Liang, et al., "Analysis of A Coupling Blowdown from Both RPV and BOP with RELAP5-3D/K for the Limiting FWLB of an ABWR in Containment Design" Accepted by the Journal of Nuclear Technology, (04/17/09).
- Thomas K.S. Liang, et al., "Analysis of ABWR FW Pump Performance during Power Ascending and Verification of an Operational Strategy to Jump Pump Speed across the Critical Region," Annals of Nuclear Energy, (2009), doi:10.1016/j.anucene.2009.03.008.
- Thomas K.S. Liang et al., "Analysis of Low Pressure Injection Bypass of ABWR during FWLB with RELAP5-3D/K," Nuclear Technology, vol. 166, pp. 146-155,.May 2009.