

# 輪機模擬機訓練教材

撰寫人:輪機系副教授 黃道祥 老師

目錄：

一、基本資料	2
二、操作介面	5
三、主機運轉之安全防護	9
四、輔機之安全防護與控制系統	11

## 一、基本資料

### (一) 主機：

模擬機中之主機為低速，二行程，具有渦輪增壓的重柴油引擎，其相關的資料如下：

Type MAN B&W 5L90MC	
Cyl Bore (缸徑)	90 cm
Piston Stroke (活塞衝程)	290 cm
Number of Cylinders (缸套數)	5
Number of Air Coolers (空氣冷卻器數)	2
Number of Turbochargers (渦輪增壓機數)	2
Continuous Service Rating ME (主機連續運轉功率)	17800 kW
Corresponding Engine Speed (主機平均轉速)	74 rpm
Mean Indicated Pressure (平均指示壓力)	18.0 bar
Scavenge Air Pressure (掃氣壓力)	2.2 bar
Turbine Speed (渦輪轉速)	8000 rpm
Number of Propeller Blades (螺槳葉片數)	5
Propeller Pitch (螺距)	1.2 P/D
Specific Fuel Oil Consumption (耗油率)	169 g/kW-h
主機為 B&W 5L90 MC, 5 缸, 低速, 二衝程引擎, 配有渦輪增壓機及 Air cooler	

### (二) 柴油發電機：

Case (使用狀況)	Approx 85% load
Active load (有效輸出)	580 kW
Current (電流量)	846 A
Fuel (燃油)	HFO

### (三) 軸發電機：

Siemens 型式 (西門子)	WGA23 PTI / PTO
El. Power (輸出電力)	750 kW (PTI and PTO-mode)
Voltage (電壓)	440V
Freq. (頻率)	60 Hz

(四) 鍋爐燃燒器：

型式: SAACKE SKV 200	
Oil Burner type: (燃燒器型式)	2 x SAACKE SKV 200
Boiler type: (鍋爐型式)	2 x AT4
Capacity: (容量)	2 x 1850 kg/h Boiler No: 6217 - 18
Main voltage: (主要電壓)	3 x 440v, 60 HZ
Steam output: (蒸汽輸出)	2 x 22.5 t/h
Pilot voltage: (指示電壓)	220V, 60 HZ
Design pressure: (設計壓力)	65/24 bar

(五) 鍋爐：

型式: AT4	
Design pressure (設計壓力)	max. working pressure 65 bar
Alarm (警報壓力)	50 bar
Normal working pressure (平常工作壓力)	44 bar
Safety valve, set pressures (安全閥設定壓力)	53 bar
Safety pressure switch, set point (壓力開關起動點)	53 bar
Boiler heating surface (鍋爐加熱面積)	505 m <sup>2</sup>
Water volume, "zero level" mark	7 m <sup>3</sup>
Water volume, complete Filled	11 m <sup>3</sup>
Furnace volume (燃燒面積)	36 m <sup>3</sup>
Heat release (釋放熱量)	502,000 kcal/m <sup>3</sup> /h

汽鼓型式資料:

Evaporation (蒸發量)	22.5 t/h
Design pressure (設計壓力)	max. working pressure 24 bar
Safety valve, set pressure (安全閥設定壓力)	20 bar
Safety pressure switch, set point	20 bar
Heating surface of evaporating elements	153 m <sup>2</sup>
Feedwater temperature (給水溫度)	50°C
Water volume at normal working level	12 m <sup>3</sup>
Water volume at compl. Filled incl. superheater	18 m <sup>3</sup>

過熱器型式資料:

Design pressure	24 bar
Steam outlet pressure, min.	20 bar
Steam outlet temperature	270°C
Gas outlet temperature	310°C
Heating surface	155 m <sup>2</sup>
鍋爐尺寸: Drums O.D. (mm)	
Primary water	700
Primary steam	900
Secondary	2200
<b>Sq. outside/</b>	
鍋爐孔蓋O.D. (mm)厚度(mm):	
Evaporating	290 x 365 45
Superheater	323.9 x 17.5
鍋爐管徑厚度(mm)	
Generating	38.4
Downcomers (下導管)	70-5.4
Steam pipes (蒸汽管)	133.10
Condensate pipes	76.1 8
Evaporating (蒸發部)	38.4
Superheater (過熱器)	38.4
Connecting pipe between sec. drum and superheater	193.7-5.4/12.5
Simmering coil (加熱盤管)	38.4

(六) 冷凍系統:

Refrigerated Compartment 1 temperature approx.	-20°C
Refrigerated Compartment 2 temperature approx.	+6,7°C
Compressor effect (壓縮機功率)	240 kW
Compressor inlet pressure (壓縮機進口壓力)	1,3 bar
Compressor outlet pressure (壓縮機出口壓力)	10,5 bar
Compressor flow (壓縮機流量)	2.5 kg/s m <sup>3</sup>
Freezing capacity (冷凍容量)	400 kW at -30°C
Cooling capacity (冷卻.冷藏容量)	50 kW at +5°C
Sea water cooling flow (冷卻海水流量)	100 ton/h

### (七) 蒸汽產生設備：

Primary water drum (主水鼓)	50 Bar (65)
Secondary water drum	50 ton/h
Secondary water drum	15 Bar
Super heater steam (過熱蒸汽)	420°C
Exhaust boiler Capacity (節熱器效率)	5 ton/h
Pressure (壓力)	13 bar
Super heater steam (過熱蒸汽)	270°C
At exhaust temperature (排汽溫度)	280°C
Oil fired	

### (八) 造水機系統：

Capacity (造水量)	42 ton/day
salt intensity (鹽度)	<10 ppm

## 二、操作介面

### (一) 功能鍵定義：

F1 (Run)	起動模擬機
F2 (Freeze)	暫停模擬機
F3 (Stop)	停止模擬機
F4 (Snap Shots)	快照 (評鑑員使用)
F5 (Operating Condition)	操作條件設定 (評鑑員使用)
F6 (Recall Picture)	回朔畫面 (評鑑員使用)
F7 (Blank)	未定義
F8 (Alarm Log Summary Display)	警訊顯示記錄
F9 (Malfunction List)	異常顯示記錄表單
F10 (Variable List)	程序變數表單
F11 (Alarm List)	警訊變數表單
F12 (Buzzer Stop)	警報中止
Home	回主選單畫面
Page Up	前一頁畫面
Page Down	下一頁畫面

(二) 模擬機系統選單：

Sea Water System (MD 01)	海水系統
ME Fuel Oil Supply System (MD 02)	主機燃油供應系統
ME Fuel Oil Service Tanks (MD 03)	主機燃油日用櫃
Fuel Oil Settling Tanks (MD 04)	燃油沉澱櫃
Fuel Oil Transfer Systems (MD 05)	燃油駁油系統
HFO Purifier System No. 1 (MD 06)	1 號重油淨油機系統
HFO Purifier System No. 2 (MD 07)	2 號重油淨油機系統
DO Purifier System (MD 08)	柴油淨油機系統
LO Purifier System (MD 09)	潤滑油淨油機系統
ME Fresh Water System (MD 10)	主機淡水系統
ME Lubrication System (MD 12)	主機潤滑油系統
ME Turbo Charger System (MD 13)	主機渦輪增壓機系統
ME Control System (MD 19)	主機控制系統
ME Local Control System (MD 20)	主機機側控制系統
ME Cylinder No. 1 (MD 21)	1 號主機缸套
ME Cylinder No. 2 (MD 22)	2 號主機缸套
ME Cylinder No. 3 (MD 23)	3 號主機缸套
ME Cylinder No. 4 (MD 24)	4 號主機缸套
ME Cylinder No. 5 (MD 25)	5 號主機缸套
ME Piston Ring Monitor (MD 27)	主機活塞環監視系統
ME Fuel Oil High Pressure System (MD 28)	主機高壓燃油供油系統
ME Bearing System (MD 29)	主機軸承系統
Propeller Servo Oil System (MD 53)	螺槳伺服油系統
Stern Tube System (MD 54)	艉軸管滑油系統
Ship Propulsion System (MD 56)	船舶推進系統
Steering Gear System (MD 58)	舵機系統
Compressed Air System (MD 60)	壓縮空氣系統
Fresh Water Generator (MD 61)	淡水製造機
Bilge Well System (MD 62)	艙底舟必水系統
Bilge Separator (MD 63)	舟必水分離器
Refrigeration System (MD 64)	冷凍系統
Waste Heat Recovery System (MD 65)	廢熱再生系統
Fresh Water Sanitary System (MD 67)	日用淡水系統
Electric Power Plant (MD 70)	電力盤

Diesel Generator No.1 (MD 71)	1 號柴油發電機
Diesel Generator No.2 (MD 72)	2 號柴油發電機
Shaft Generator PTI/PTO (MD 73)	軸發電機
Electrical Consumers (MD 74)	電力負載分電盤
Synchroscope Panel (MD 75)	同步盤
Steam Generation Plant (MD 80)	蒸汽產生設備
Exhaust Boiler (MD 81)	排氣鍋爐
Steam Generator (MD 82)	蒸汽產生器
Oil Fired Boiler (MD 83)	燒油鍋爐
Boiler Combustion (MD 84)	鍋爐燃燒器
Steam Condenser System (MD 85)	蒸汽冷凝器系統
Steam Turbine (MD 86)	蒸汽渦輪機
Cargo Turbines (MD 87)	貨油渦輪機
Inert Gas Plant (MD 89)	惰氣系統
PowerChief Generator Control (MD 101)	主動力控制盤－發電機驅動控制
PowerChief Pump/Compressor Control (MD 102)	主動力控制盤－壓縮機/泵浦驅動控制
AutoChief Indicator Panel (MD 103)	主自動控制盤－指示器盤
AutoChief Control Panel (MD 104)	主自動控制盤－控制盤
Main Engine - Bride Panel (MD 110)	駕駛台主機控制盤
Ship - Course Control (MD 111)	船舶航向控制盤
Ship Load System (MD 112)	船舶貨載系統
Remote Emergency Operating Panel (MD 115)	遙控緊急操作盤
Cylinder Indication - Press/Angle (MD 120)	氣缸指示系統－壓力/角度圖
Cylinder Indication - Press/Vol. (MD 121)	氣缸指示系統－壓力/容積圖
Weak Spring Diagram (MD 122)	弱彈簧指示線圖
Cylinder Indication - Delta-Press/Angle (MD 123)	氣缸指示系統－壓力差/角度圖
Pen Recorder (MD 130)	記錄板
Description of Legends (MD 150)	圖片說明（符號、代號）

### (三) 管線圖色碼：

Sea Water	Green
Low Temp Fresh Water	Blue
High Temp Fresh Water	Between blue and light blue
Steam	Light Blue
Diesel Oil	Yellow
Fuel Oil :	Brown
Lubrication Oil	Orange
Gas	Pink
Exhaust Gas	Orange
Passive Component	Black

### (四) 各程序變數代號字母之意義：

T : Temperature	L : Level
G : Flow	X : Position
P : Pressure	Z : Water Content, Controller pos.,
N : Rpm	W : Viscosity
Q : Torque	C : Course
I : Ampere	R : Turning Rate
F : Frequency	M : Ship Load
E : Electrical Heat, Load	H : Heat
V : Valve, Volt	MD : Model Drawing (e.g., MD 03)



### 三、主機運轉之安全防護

#### (一) 自動減車 (M.E. slow down)

發生以下狀況，主機將施行自動減車：

- Main LO Inlet Pressure < 1.2 bar
- Cam Shaft LO Pressure < 2.0 bar
- Thrust Bearing Temperature > 75 °C
- Piston Cooling Oil Flow < 84.4 t/h
- Scav. Air Cyl. Inlet Temperature > 75 °C
- Main LO Inlet Temperature > 60 °C
- Cam Shaft LO Temperature > 70 °C
- Piston LO Outlet Temperature > 70 °C
- Main Bearing Temperature > 80 °C
- Cyl. Exhaust Temperature > 460 °C
- High TBHC Vibration > 50 %

#### (二) 自動停車 (M.E. Shut down)

發生以下狀況，主機將施行自動停車：

- Main LO Inlet Pressure < 1.0 bar
- Cam Shaft LO Pressure < 1.5 bar
- Thrust Bearings Temperature > 85 °C
- Cylinder cooling water temperature > 96 °C
- Main Engine overspeed > 80 rpm

#### (三) 抑制主機起動 (Main Engine Start Inhibited)

發生以下狀況，主機將無法在 AutoChief 控制盤起動：

- Main Engine in Local Control
- Start failure
- Reversing failure
- Breaking failure
- Turning Gear in
- Start Air press < 16 bar
- Control Air press < 2.1 bar

(四) 緊急停車 (Emergency Stop)：按下緊急停車按鈕，將強迫燃油噴射泵浦之油桿於零刻度，讓主機緊急停車。

#### (五) 緊急運轉 (Emergency Run)

主機之緊急運轉包含下列模式：

- Shut Down Override：除了保留超速停車保護外，其他自動停車之條件均予以取消。
- Slow Down Override：所有之自動減車之條件均予以取消。
- Program Override：原規劃之加載程序予以取消，heat index 自動設於100%位置。
- Limits Override：取消 Scavenging air 及 rpm 之加車限制
  - 增加 Start setpoint
  - 取消 Start fail
  - 增加 rpm level for Brake Air ON

附註：

#### **RPM Limiter**

當引擎轉速低於全速之40%，最大油門位置將限制於70%，當引擎轉達全速之95%，最大油門位置即回復為100%。

#### **Scavenging air Limiter**

當掃氣壓力低於 0.2 bar，最大油門位置將限制於 50%，掃氣壓力高於 0.2 bar，最大油門限制位置由 50%隨之增加，當掃氣壓力高於 1.0 bar，最大油門位置即回復為 100%

#### (六) 主機遙控位置之切換

##### 1. 由控制室操控改為駕駛台操控

首先按下控制室之AutoChief panel上之“BRIDGE” 操控位置按鈕，該按鈕之指示燈開始閃爍，接下來按下在AutoChief Bridge Control panel上之“BRIDGE” 操控位置按鈕，按鈕之指示燈停止閃爍，保持發亮狀態，切換動作即已完成，可進行駕駛台之主機操控。

##### 2. 由駕駛台操控改為控制室操控

若要將遙控位置由駕駛台操控切換回機艙控制室操控，僅需在控制室之AutoChief console 上按下“ECR” 操控位置按鈕，即可將控制位置切換回機艙控制室。

3. 改為機側操控(Local control):僅需在 Local control console 上按下“Local” 操控位置按鈕，即可將控制位置切換為機側操控。

## 四、輔機之安全防護與控制系統

### (一) 海水系統

海水水溫控制：透過 PID 控制器的運算，將擬排出之海水旁通一部份回海水泵浦之進口端，以維持海水於設定之溫度，避免因水溫過低，降低系統之效率。

### (二) 淡水系統

淡水系統之水溫控制，包含高溫淡水系統 (HTFW，主機缸套冷卻水) 之水溫控制及低溫淡水系統 (LTFW，主機之空氣冷卻、各輔機，包含空氣壓縮機、滑油冷卻系統等) 之水溫控制：

高溫淡水系統 (HTFW)：透過 PID 控制器的運算，將高溫段的冷卻淡水溫度維持於設定之溫度範圍，除了達成冷卻的功能外，亦維持系統之效率。

低溫淡水系統 (LTFW)：透過 PID 控制器的運算，將低溫段的冷卻淡水溫度維持於設定之溫度範圍，除了達成冷卻的功能外，亦維持系統之效率。

(三) 壓縮空氣系統：空氣壓縮機之啟動與停止之順序控制。

### (四) 電力系統

船舶電力系統包括：原動機、發電機、配電系統及電力負載。以下分別介紹相關部份之控制系統：

1. 原動機：在本模擬機中，計有柴油發電機 2 台、透平發電機 1 台、軸發電機 1 台及緊急發電機 1 台，以下分別討論各原動機之控制
  - A. 柴油發電機：柴油引擎之控制包含引擎起動/停止，轉速控制 (調速器)，冷卻水溫控制。
    - (a) 引擎之操控包含柴油引擎之啟動與停止，現場與遙控位置之切換，引擎之跳脫保護 (Engine trip) 等功能。其中引擎之跳脫保護條件包含超速 (Over speed)、滑油低壓、滑油高溫、冷卻淡水高溫、排氣高溫。
    - (b) 引擎之轉速控制係使用調速器 (Speed governor)，調速器本身是屬於 PI 控制器之模式，除了速度設定值，比例增益 (調整 compensation lever) 及積分時間 (調整 compensation valve) 可調外，速度降落特性 (Speed droop) 及負荷限止 (Load limit) 均為可調。
    - (c) 淡水水溫控制：採用比例控制器 (Proportional controller with bias setting)，若符號  $y$  為控制器輸出， $T_{set}$  為設定溫度， $T$  為量測溫度， $K_p$  為比例增益， $bias$  為固定偏差值，則控制器之輸出為

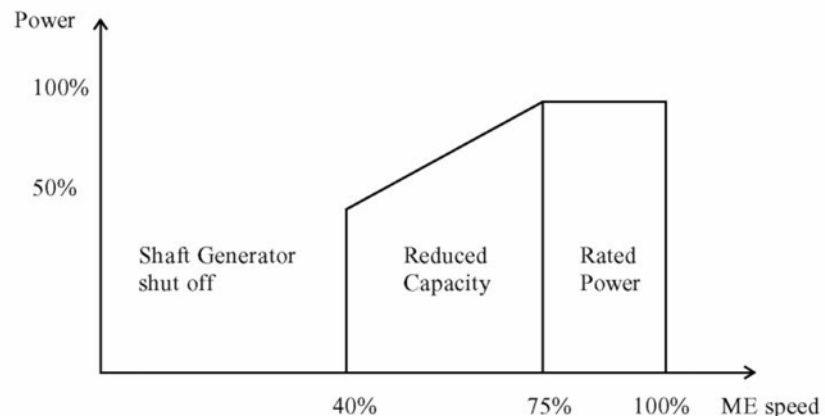
$$y = (T_{set} - T) * K_p + bias$$

- B. 透平發電機 (Turbo generator)：透平機乃透過獨立的安全防護系統

提供保護，當發生下列狀況時會進行跳機之保護：

- (1) 冷凝器高水位
- (2) 冷凝器壓力過高（真空度不足）
- (3) 鍋爐高水位
- (4) 透平發電機超速
- (5) 發電機定子（stator）溫度過高
- (6) 滑油壓力過低
- (7) 轉子發生位移（rotor displacement，積存之疏水引發水錘現象）
- (8) 轉子發生位移（carry over water strike）
- (9) 震動加劇（冷起動）
- (10) 震動加劇（潤滑不良）

C. 軸發電機：在主機轉速達全速之 40% 以上時，軸發電機已可開始供應電力負載，其中主機轉速在全速之 40%~75% 之間，供應之功率正比於引擎轉速，主機轉速在全速之 75%~100% 之間，則維持固定之滿載輸出功率，如下圖所示：



D. 緊急發電機：緊急發電機的控制模式有 AUTO 及 MANUAL 兩個選擇位置，如果控制模式選擇 AUTO，當供電出現 black out 時，緊急發電機會自動起動及自動聯上匯流排以供電。只要任一主發電機已經起動且並入匯流排，緊急發電機則將自動脫離匯流排並自動停機。

2. 發電機與配電系統：發電機發出之電力是透過配電系統將之適當的分配給各電力負載使用。配電系統要有能力在負載功率經常變動的情況下，能維持供電之電壓、頻率於指定的數值（440V，60Hz），電壓的控制係使用自動電壓調整器（AVR），頻率控制則透過調速器為之。另一方面，如果現有的發電機組不足以應付負載的功率需求，則自動啟動備用的發電機以加入供電（此階段的控制包含自動整步投入，Auto-synchronizing 及自動負載分配，Auto-load sharing），或者在電力負載需

求下降時，能自動移除某部發電機 (Auto load shifting)，維持供電系統的高效率運轉。各發電機是透過 circuit breaker 將電力接上匯流排，以供應各用電負載。為了避免過負載發生時導致發電機受損，配電系統設計的保護措施包括優先跳脫 (Preferential trip) 及 circuit breaker 跳脫。優先跳脫是當負載電流超過設定限值時，以延時的方式分階段跳脫次要的負載，例如部份之通風、照明、衛生水等。如果發生危險的緊急情況，則只好跳脫 circuit breaker 中斷供電，以維持發電機的安全，設計上 circuit breaker 跳脫保護的條件包括：

- A. 過載 (Over load)，包括短路電流跳脫及長時電流超限跳脫
- B. 逆電力 (Reverse power)
- C. 電壓過低 (Low voltage)
- D. 頻率過低 (Low frequency)
- E. 並聯不當，導致 bus bar shock

3. 電力負載 (Electric consumers)：透過 No fuse breaker 以管制每一電力負載，若出現過載時將該項負載切離匯流排，避免干擾到其他負載之正常供電。

#### (五) 蒸汽系統

蒸汽系統的自動控制包括：(1) 鍋爐產汽壓力控制，(2) 鍋爐水位控制，(3) 燒油鍋爐之燃燒控制。

##### 1. 鍋爐產汽壓力控制：

海洋大學的輪機模擬機是屬於油輪的機艙模式，對蒸汽的需求量較一般的貨輪為高。在靠港期間，主機處於停機狀態，廢氣鍋爐及透平發電機均不使用，此時係使用燒油鍋爐 (Oil-fired boiler) 產生蒸汽，蒸汽供應壓力約為 13 bar，可供應每小時 50 噸之蒸汽量給驅動貨油泵浦之透平機使用。在正常航行期間，則使用廢氣鍋爐利用主機之廢氣餘熱以產生蒸汽，蒸汽供應壓力約為 8 至 12 bar，主要供應各種的加熱需求。若蒸汽需求量較大，蒸汽壓力不足 8 bar，則啟動燒油鍋爐以輔助產汽。當蒸汽需求量較小，導致產汽壓力高過 12 bar 時，可控制廢氣的旁通擋板 (damper)，減小熱源的供應，以維持產汽壓力於 12 bar 之內。

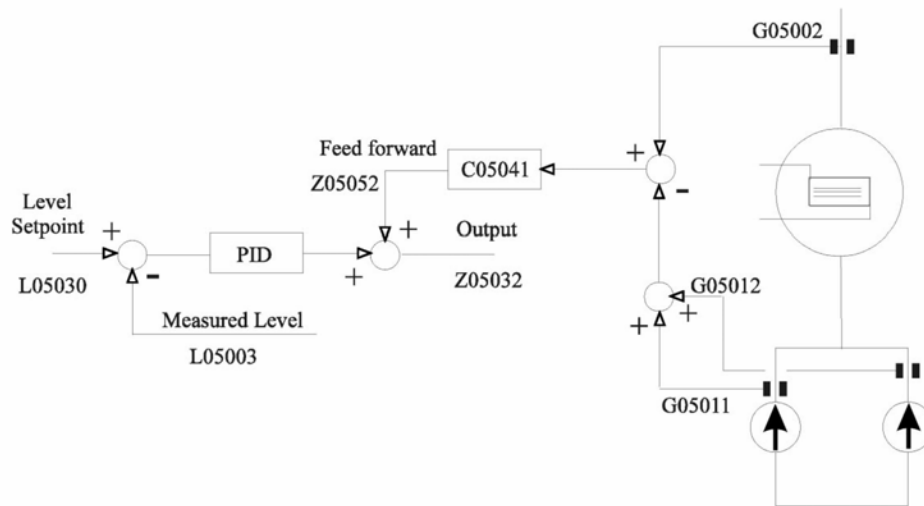
##### 2. 鍋爐水位控制：

本鍋爐之水位控制是屬於三元式水位控制 (Three elements level control)，鍋爐之水位透過水位量測與設定水位作比較，如果有誤差，則經由 PI 控制器之運算得到給水閥之驅動訊號以嘗試消除水位誤差。由於模擬機之鍋爐為水管鍋爐，其產汽率甚高，不能允許出現明顯的水位誤差，因此另加入兩組前饋控制因素，亦即蒸汽流量及給水流量。譬如當蒸汽流量增加時，可預期水位必會下降，故不需等到水位真正下降，即可先增大給

水閥的開度，增加給水供應流量，以加速水位之回復。同理，若給水流量下降，也必然會造成水位下降，亦可先加大給水閥的開度以加速水位之回復，如此可增快水位控制的反應速度。鍋爐之水位控制的結構圖如後附。

由於鍋爐之壓力反應與水位反應間存在著交互作用 (interaction) 影響，進行水位控制之調整 (Trimming) 時，可先將主燃燒控制器 (master combustion controller) 先置於手動位置，以方便進行水位控制器參數之調整。

### Steam Generator Level Control



### 3. 燒油鍋爐之燃燒控制

鍋爐之燃燒控制之控制目標為：(1) 自動調整燃燒率以供應所需之蒸汽需求量，以維持穩定之鍋爐產汽壓力。(2) 提供燃油噴射所需之適當空氣量以維持安全且良好之燃燒品質。此系統包含一組主控制器 (Master controller) 及兩組從動控制器 (Slave controller)，而稱為 Double cascade control structure。主控制器係根據指定之鍋爐壓力及對應之蒸汽流量及給水流量以計算所需供應之燃燒率設定值 (包含所需之燃油流量及空氣流量)。兩組從動控制器，一為燃油流量控制迴路，另一為燃燒用之空氣量控制迴路，以分別控制所需的燃油及空氣流量以達成所需之燃燒率需求。在主控制器及從動控制器間裝設有 High/Low selector，其目的在確保當增加燃燒率時，空氣之流量會先於燃油流量的增加；而當降低燃燒率時，燃油之流量會較空氣之流量先行減少，以維持穩定的燃燒。

為因應水管鍋爐之高產汽率需求，燒油鍋爐燃燒控制之主控制器內，除了鍋爐壓力之回授控制迴路外，尚需監視蒸汽流量及汽鼓之淨流出流量 (等於蒸汽流量減去進入之給水流量) 以便立即調整對應之燃燒率，此部份之控制動作屬於前饋控制 (Feed forward control) 之模式，每一因數的修正量藉由對應之增益值加以調整，如下圖所示。



蒸汽冷凝器系統 (MD 85)	65
蒸汽渦輪機 (MD 86)	66
貨用渦輪機 (MD 87)	67
舵機系統 (MD 87)	68
發電機驅動控制 (MD 101)	69
壓縮機泵驅動控制 (MD 102)	70
跳脫指示盤 (MD 103)	71
跳脫控制盤 (MD 104)	72
主機艙面控制盤 (MD 110)	73
操舵控制盤 (MD 111)	74
船舶貨載系統 (MD 112)	75
遙控緊急操作盤 (MD 115)	76
氣缸指示圖~壓力/角度 (MD 120)	77
氣缸指示圖~壓力/容積 (MD 121)	78
弱彈簧線圖 Weak Spring Diagram (MD 122)	79
氣缸指示圖~壓力差/角度 (MD 123)	80
Pen Recorder記錄板 (MD 130)	81
圖片說明 (符號、代號) (MD 150)	82