

## 目錄

一、目的：	1
二、過程：	1
1. 主要課程：	1
2. 外地工廠參觀：	1
三、課程內容說明：	3
1. 發電機：	3
1.1 發電機基本原理：	3
1.2 林口新機組發電機規格：	4
1.3 發電機構造：	5
2. 發電機輔助設備：	14
2.1 氫氣系統：	14
2.2 封油系統：	16
2.3 定子線圈冷卻水系統：	22
3. 發電機運轉相關曲線.....	31
3.1 特性曲線 (Characteristic Curve) .....	31
3.2 運轉能力曲線 (Capability Curve) .....	32
3.3 電壓曲線 (V Curve) .....	33
4. 自動電壓調整器 (AVR-Automatic Voltage Regulator) 及勵磁系統 (Automatic Voltage Regulator and Excitation System)： .....	34
3.1 基本規格：	36
3.2 AVR 及勵磁系統架構：	37
3.3 AVR 主要功能：	38
3.4 控制模式：	40
3.5 保護功能：	40
3.6 其它控制功能：	40
四、心得及建議：	41

## 一、目的：

本次奉派到林口發電廠更新擴建計畫發電機製造廠家-日本 MELCO (Mitsubishi Electric Corporation) 接受 4 周之發電機運轉、維護訓練，以期能對公司火力電廠最大單一機組容量之發電機 (1039 MVA) 有完整之了解，對日後發電機運轉、維護能以最快速度熟悉，且未來機組趨向朝更大型化發展，對發電機規範之訂定及後續圖資審查皆有所助益。

## 二、過程：

### 1. 主要課程：

本次訓練課程安排在三菱電機 (MELCO) 神戶製作所內辦理，因該所為發電機設計、製造工廠，課程內容主要涵蓋發電機及其輔助設備設計、構造說明，AVR 及勵磁系統介紹，設備安裝、測試及維護等課程，各訓練課程講師皆會視課程需要至各相關製程廠內實際了解相關設備製造及組裝情形，該期間林口新 2 機發電機恰好正在廠內製造中，理論對照實物有助於加深對課堂所講述內容的了解，有關設備安裝、測試及維護無法於廠內實際觀摩，僅依認可之圖說做基本之說明。

### 2. 外地工廠參觀：

課程中有安排三天前往位於同在兵庫縣但於神戶製作所外之工廠參觀，5 月 27 日赴加古郡 (Kako-gun) 三菱電機下包商-循菱電產工廠參觀，該廠主要為板金加工及設備組裝工廠，林口發電機封油系統於此廠組裝，6 月 3 日赴尼崎市 (Amagasaki) 三菱電機變壓器工廠參觀，林口發電機勵磁變壓器於該廠設計製造，6 月 4 日赴赤穂市 (Ako) 三菱電機高壓開關及控制盤製造工廠參觀，林口發電機控制盤於此廠設計製造，但因 1 號機相關設備已運交至現場，僅於循菱電產工廠有看到新 2 機封油系統正在廠內組裝(如圖 2-1)，其它二廠僅做工廠製程參觀，各廠皆有派員簡報 (如圖 2-2、3)，並於導覽工廠時親切回答相關提問。



圖 2-1 林口新 2 機封油系統設備



圖 2-2 三菱電機高壓開關及控制盤製造工廠簡報



圖 2-2 三菱電機變壓器工廠簡報

### 三、課程內容說明：

#### 1. 發電機：

##### 1.1 發電機基本原理：

利用導體切割磁場產生電流，由佛來明右手定則（如圖 3-1）可知其相互關係，而發電機只是將磁場加到轉子產生旋轉磁場，旋轉磁場切割定子線圈而產生電流（如圖 3-2）。

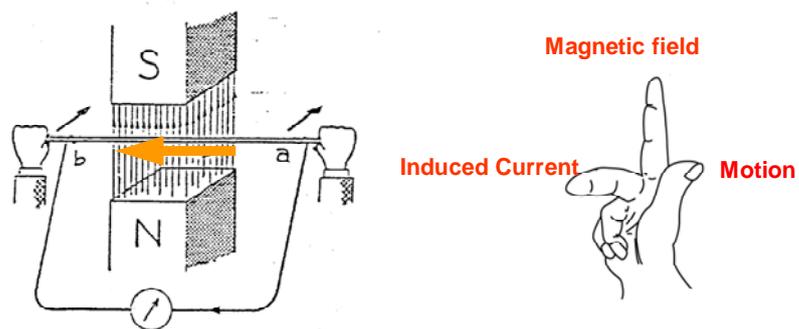


圖 3-1 佛來明右手定則

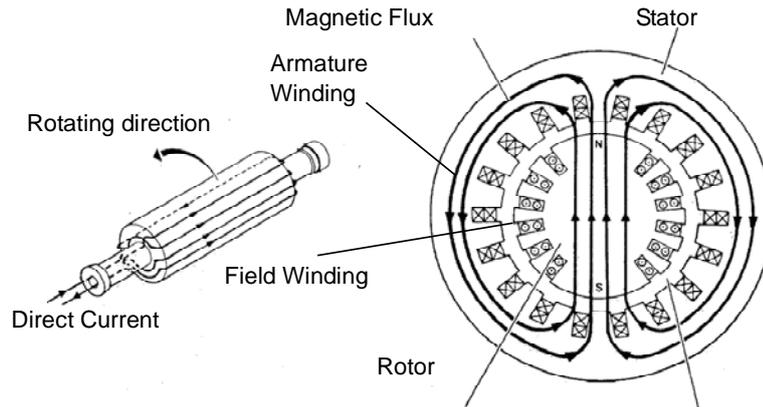


圖 3-2

發電機轉速（Ns）由頻率（f）及極數（P）決定，公式如下：

$$N_s = 120 * f / P$$

一般來說核能電廠之發電機多為 4 極轉速 1800rpm，火力電廠因蒸汽壓力高，發電機多為 2 極轉速 3600rpm，若客戶特別指定則為例外狀況。

在發電廠中發電機受汽輪機（Steam Turbine）或氣輪機（Gas Turbine）帶動旋轉，因轉子有外加激磁所建立之磁場，旋轉切割定子繞組（Stator Winding）產生電力輸出，如示意圖 3-3。

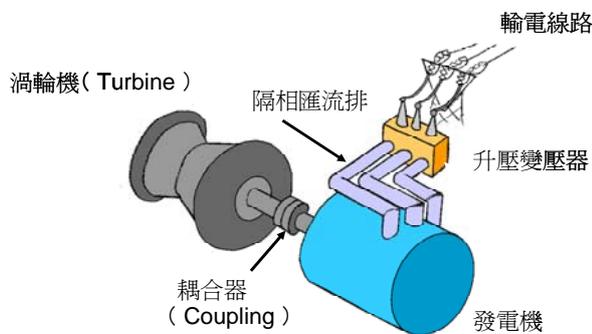


圖 3-3

## 1.2 林口新機組發電機規格：

項次	項目	規格
1	型式	Horizontally mounted Cylindrical Rotor Rotating Field Type
2	額定容量 (MW)	883.15

3	額定容量 (MVA)	1039
4	額定電壓 (kV)	25
5	額定電流 (kA)	23,995
6	頻率 (Hz)	60
7	極數	2
8	氫氣壓力 (MPa)	0.5
9	短路比	$\geq 0.5$ at rated MVA
10	激磁電壓 (V)	550
11	絕緣等級/溫升等級	Class F / Class B

### 1.3 發電機構造：

主要區分為定子 (Stator) 和轉子 (Rotor)，如圖 3-4。

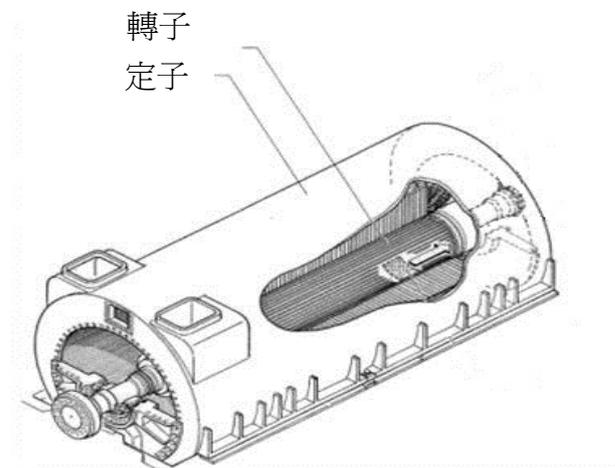


圖 3-4

#### 1.3.1 定子 (Stator) 構造：

1.3.1.1 外殼 (Stator Frame)：將鋼板捲成圓筒狀焊接，再依發電機容量大小由數段圓筒連接成所需長度之外殼，如圖 3-5。

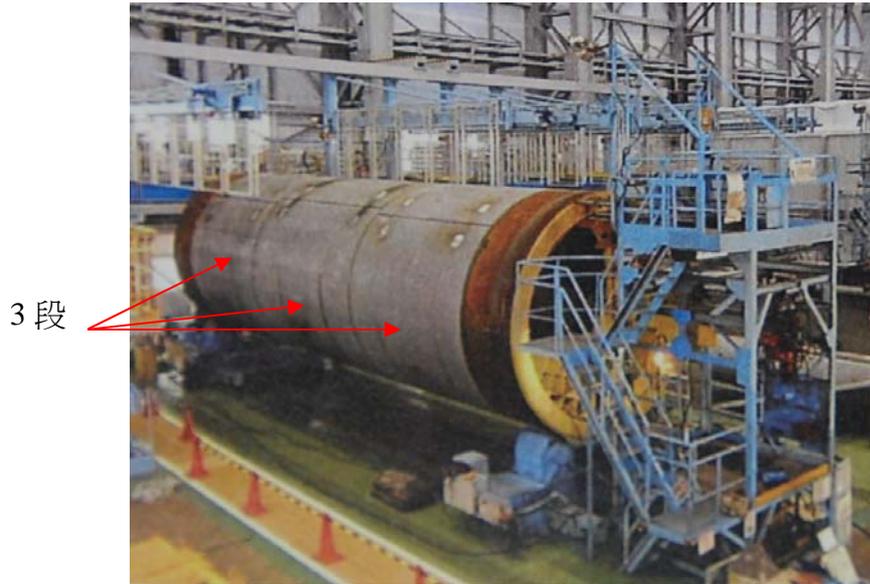


圖 3-5

外殼強度取以下二者之較高者為設計值，確保外殼有足夠強度可將萬一發生氫氣爆炸時將爆炸侷限於內部，不會波及外部人員及設備。

①  $0.5 \text{ MPa}$  (林口發電機氫氣額定壓力)  $\times 2$  (安全係數)  
 $= 1.0 \text{ MPa}$

②  $0.7 \text{ MPa}$  (氫氣最大爆炸壓力)  $\times 1.5$  (安全係數)  $= 1.05 \text{ MPa}$

故林口發電機外殼強度設計值為  $1.05 \text{ MPa}$ 。

#### 1.3.1.2 定子鐵心 (Stator Core) :

由高導磁性矽鋼片 (最薄者厚度僅  $0.35 \text{ mm}$ ) 堆疊而成，矽鋼片上依設計會有定位孔、固定螺栓孔及氫氣冷卻通風孔等，小容量發電機定子鐵心可由機器手臂自動堆疊，中大型發電機定子鐵心仍需以人力一片一片堆疊，林口新機組發電機為大容量需將完成之外殼豎立起來，由人工在其內部堆疊鐵心 (圖 3-6a)，約需費時 2 個月，堆疊完成後以數支螺栓 (Through Bolt) 貫穿整個鐵心鎖緊固定 (圖 3-6b)。



圖 3-6a

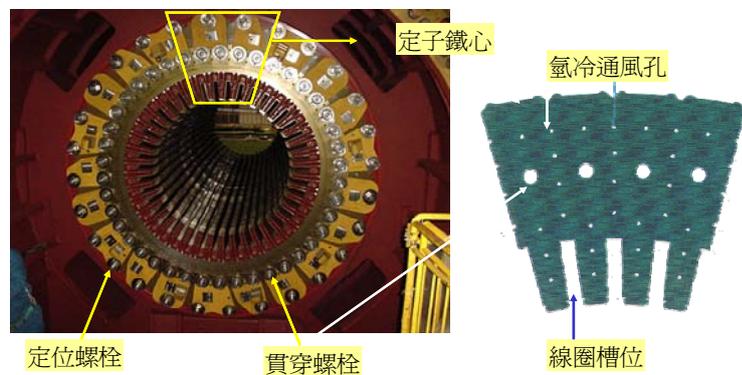


圖 3-6b

定子鐵心以彈性元件固定於外殼內（圖 3-7），利用彈性元件吸收運轉時定子鐵心之振動，避免振動直接傳遞到基礎，連帶影響其它設備之運轉。

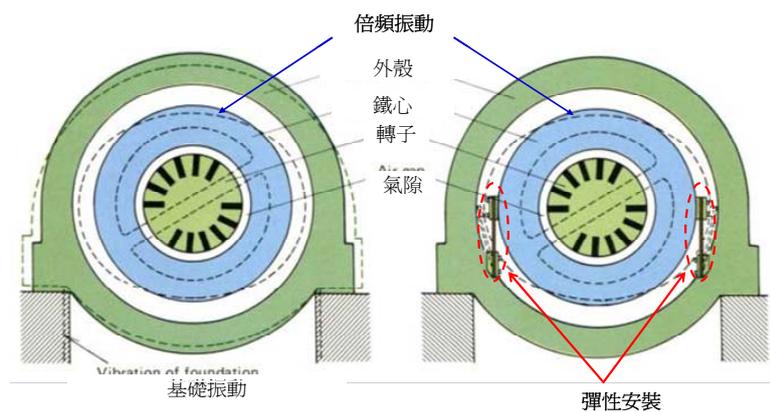


圖 3-7

### 1.3.1.3 定子線圈（Stator Winding）：

安裝於定子鐵心之線圈槽位（Coil Slot）中，林口新機組發電機共設計有 36 槽，每槽有上、下導體共 72 根導體，每根導體又由數條銅導線構成，其構造如圖 3-8。

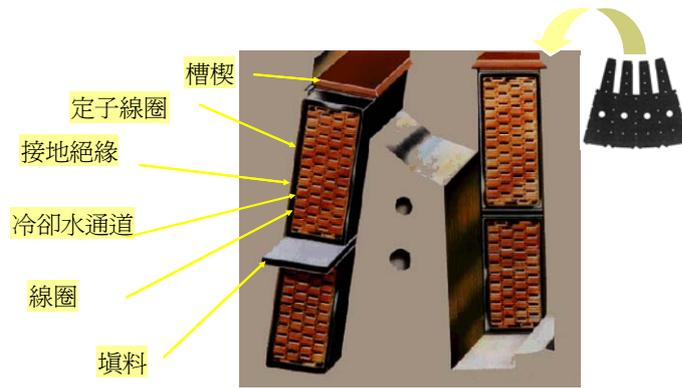


圖 3-8

#### 1.3.1.4 定子線圈引出固定方式：

定子線圈最後將引出連接至 Lead Box 接上絕緣礙子 (Insulation Bushing)，再連接隔相匯流排 (IPBD) 至主變壓器 (Step-up Transformer) 一次側，但定子線圈引出至定子鐵心外時為懸空並沒有支撐，另加設一樹脂環 (Resin Cone) 作為定子線圈引出之固定支撐，最後澆灌樹脂填滿定子線圈間與樹脂環空隙形成一體，如圖 3-9a，最後以分相環 (Phase Ring，即環型匯流排，如圖 3-9b) 區分定子線圈至各相 (R、S、T 及中性點) 後分別引接至 Lead Box。

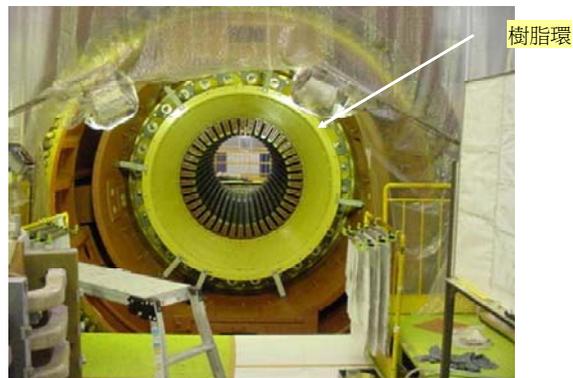


圖 3-9a

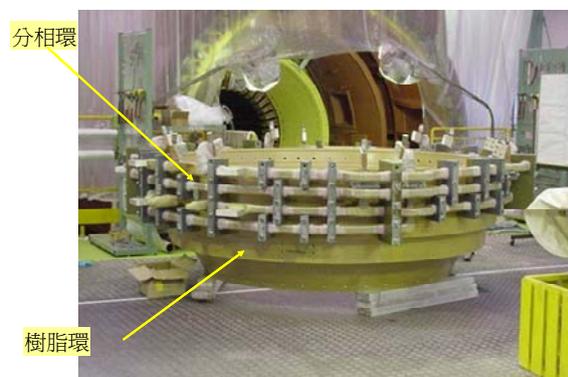


圖 3-9b

因林口新機組發電機容量大，MELCO 設計定子線圈散熱採水

冷方式，故分相環外側還有一環型水管（Manifold）與每一定子線圈以絕緣可撓式水管（Insulation Hose）連接，作為冷卻水循環之用，如圖 3-10a、b。

詳細說明請參照 2.3.2 定子線圈冷卻水系統。

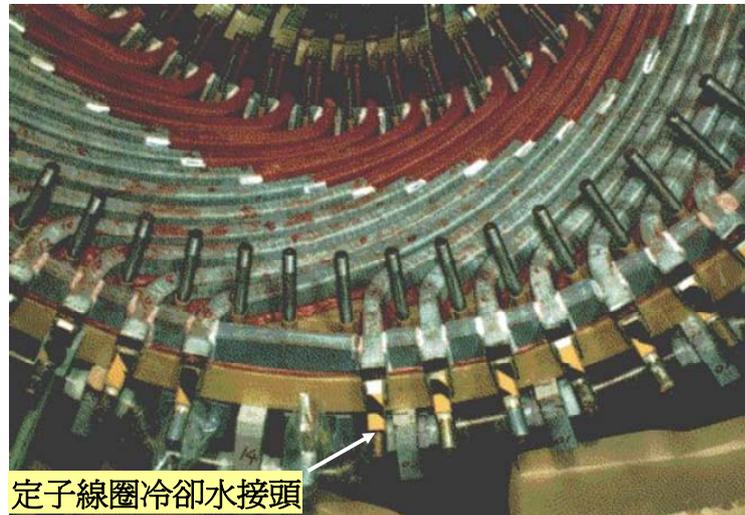


圖 3-10a

冷卻水主水管

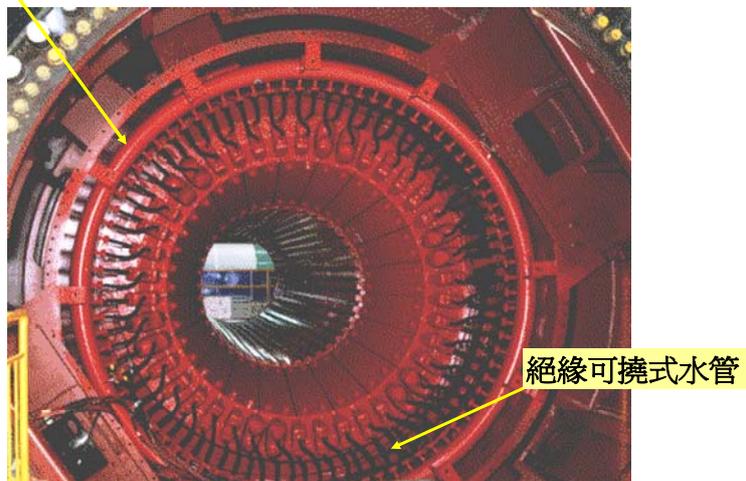


圖 3-10b

#### 1.3.1.5 Lead Box :

分相環區分 3 相（RST）線路及 3 條中性線引接至 Lead Box 內連接絕緣礙子，共有 6 個（3 個為線路，3 個為中性點），礙子頂部端子即與外部 IPBD 等連接處，如圖 3-11a、b。

MELCO 所設計之發電機 Lead Box 位置依搭配之原動機 GT（氣渦輪）及 ST（汽輪機）有所不同，一般原則為 GTG 之 Lead Box 位置在發電機上端，STG 之 Lead Box 位置在發電機下端，若客戶另有指定則依客戶指定位置設計、製造。

但 Lead Box 內之主導體採氫氣冷卻。

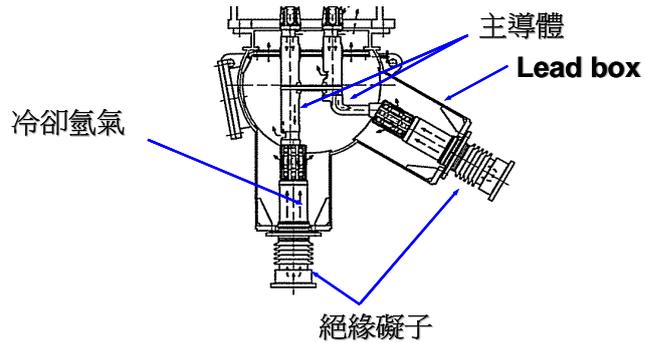


圖 3-11a

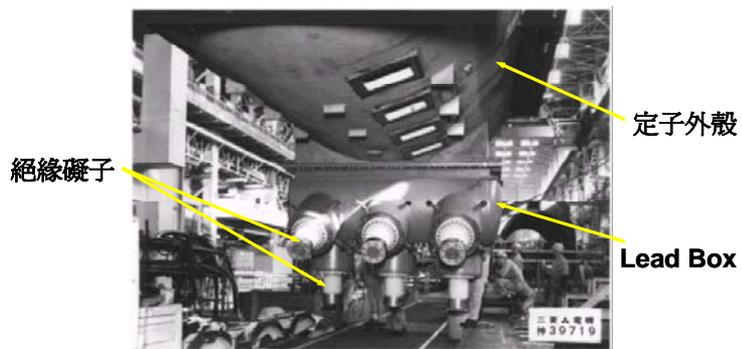


圖 3-11b

### 1.3.2 轉子構造：

#### 1.3.2.1 轉軸（Rotor Shaft）材質：Ni-Cr-Mo-V 合金鋼鍛造。

轉軸切割出轉子線圈佈放之槽（Slot），並於 2 極（Pole）區域切出橫向溝槽（Cross Slot）與線圈槽垂直，作為均衡整個轉子剛性（Uniform Rigid）之用，如圖 3-12a。

如圖 3-12b，線圈槽區開了許多槽，以極端簡化狀況下相當類似於挖空，而 2 極是實心鋼材，其剛性並不均衡，高速旋轉時尤其在 2 倍頻率狀況下會產生較大之振動。

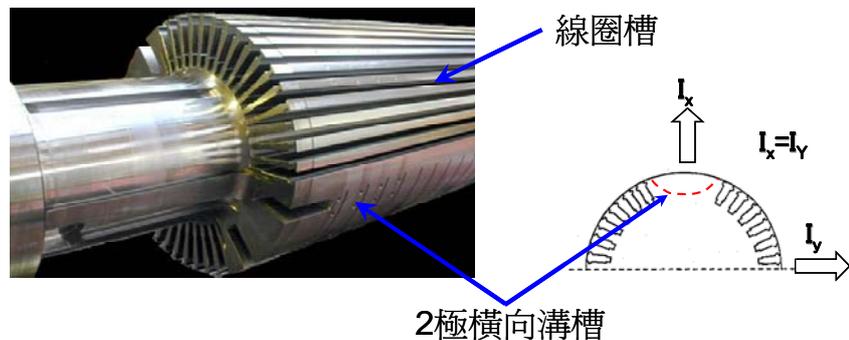


圖 3-12a

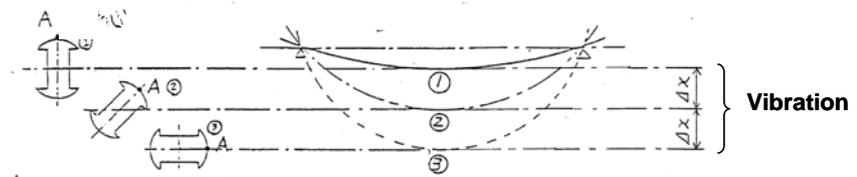


圖 3-12b

1.3.2.2 轉子線圈構造：

如圖 3-13a、b 所示，線圈由上下門字型銅導體組合而成，林口發電機轉子每一槽安裝 6 匝線圈，每一匝線圈中間為冷氫 ( $H_2$ ) 之通道，至線圈槽軸向中段區域經由數個出風口將熱氫排出，此為 MELCO 最新之設計，相較以往之設計（出風孔平均分布於整個線圈槽）冷卻效果更佳。

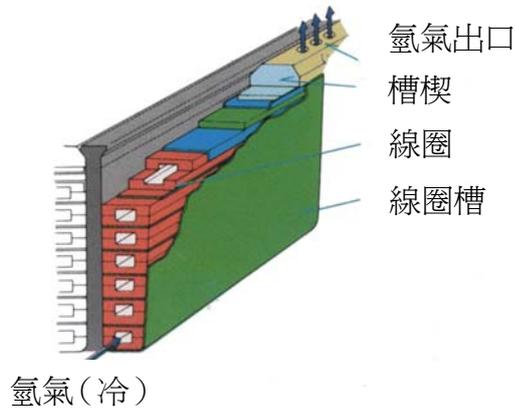


圖 3-13a

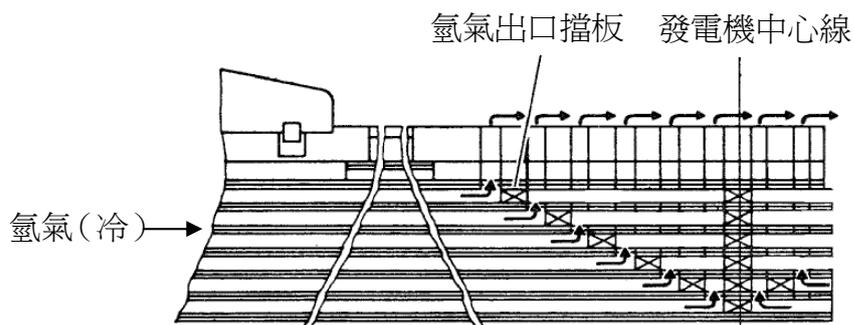


圖 3-13b

1.3.2.3 轉子線圈末端處理：

轉子線圈最後需離開線圈槽引接至滑環 (Slip Ring)，此範圍內線圈不易固定，旋轉時之離心力會使線圈脫離原先位置，故以保護環 (Retaining Ring) 套住，主要為固定線圈避免因離心力脫離及防止線圈外露受損，其材質為 18Mn-18Cr 非導

磁鋼材可降低有載雜散損失 (Stray Load Loss)，如圖 3-14。

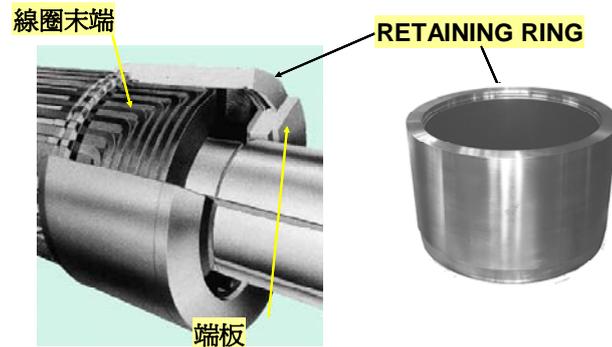


圖 3-14

#### 1.3.2.4 鼓風機 (Blower) :

此為多級式軸流鼓風機 (Multi-Stage Axial Blower)，林口發電機之設計為靜葉片 6 級，動葉片 5 級，作用為使氫氣循環於定子、轉子中長而狹窄的風道，提高冷卻效率，如圖 3-15。

#### 鼓風機葉片

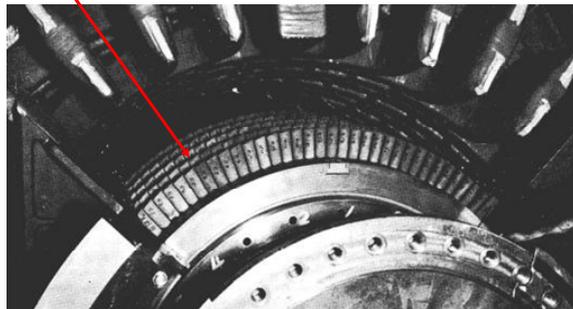


圖 3-15

#### 1.3.2.5 滑環 (Slip Ring) :

轉子線圈引接至滑環，分為正、負極，接受勵磁系統輸入的直流電經由碳刷、滑環 (如圖 3-16) 至轉子線圈。

滑環為螺旋溝槽，可使碳刷與滑環磨擦更平均，且溝槽有助於散熱及使摩擦後之碳粉可沿溝槽掉落下方，易於收集、清除。

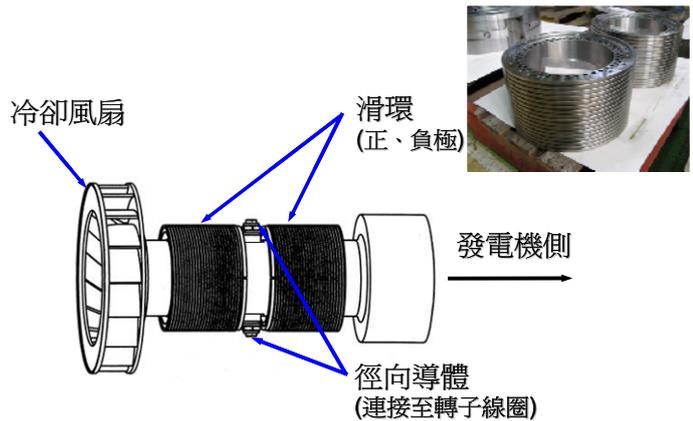


圖 3-16

### 1.3.2.6 碳刷 (Brush) :

勵磁機供應激磁電流經碳刷傳遞至滑環，再由滑環至轉子線圈產生旋轉磁場切割定子線圈輸出電能。

碳刷安裝於碳刷架上 (Brush Holder)，每一個碳刷架可配置 5 個碳刷，MELCO 設計有卡片式 (Cartridge Type) 及雜誌架式 (Magazine Type) 二種，林口發電機採用 Magazine Type (如圖 3-17)，主要考量為碳刷數量較多 (36 個碳刷架，共 180 個碳刷)，此種探刷架較易維護，但每次只能更換總碳刷數的 10%，以林口發電機為例，每次最多只能換 18 個碳刷，即 3 個碳刷架 (15 個)，因新碳刷表面是平的，與滑環接觸面積小，需經一星期磨合後其表面形狀才會完全與滑環密接，也代表下一星期才能更換下一個 10%，若一次更換太多，因較多碳刷與滑環接觸面積小，所能傳遞之激磁電流變小，將影響發電機之運轉能力。

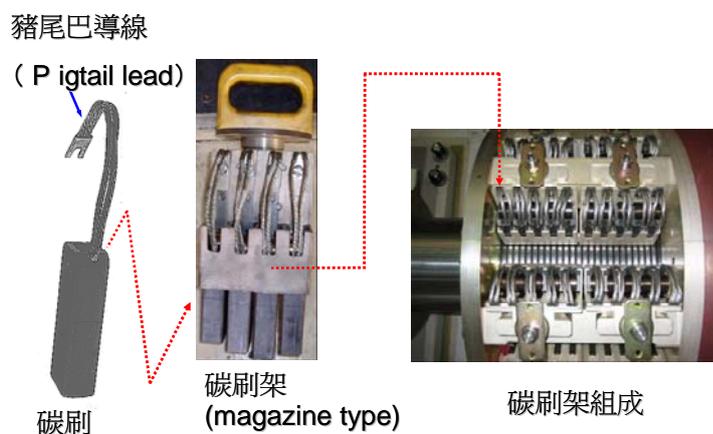


圖 3-17

### 1.3.2.7 格蘭油封及軸承 (Gland Seal & Bearing) : 參照 2.2 封油系統

說明。

## 2. 發電機輔助設備：

大型發電機主要附屬設備包含發電機內部冷卻的氫氣及維護時排除 (Purge) 氫氣之 CO<sub>2</sub> 系統，密封氫氣的封油系統及定子線圈冷卻水系統，這些輔助系統在發電機實際運轉時扮演非常重要之角色，以下將依序介紹氫氣、CO<sub>2</sub> 系統、封油系統及定子線圈冷卻水系統。

### 2.1 氫氣系統：

林口新發電機採用氫氣冷卻發電機內部，氫氣供應系統之設備包括有供應氫氣之氫氣瓶，換氣用之二氧化碳瓶，乾燥氫氣之氫氣乾燥器，非正常運轉時產生警報之氫氣監視盤及利用冷凝水冷卻氫氣之氫氣冷卻器，氫氣與空氣混合時，如含有 5% 到 70% 的氫氣時，就可能爆炸，因此，發電機在安裝、維修需換氣時，絕不可讓氫氣與空氣混合在一起，不管從空氣換成氫氣或從氫氣換成空氣，都須用二氧化碳(CO<sub>2</sub>)為替換媒介。當發電機正常運轉，氫氣通過氫氣乾燥器，讓活性鋁乾燥劑吸收水份，當乾燥劑吸濕之後，再由加熱器乾燥。林口新發電機目前使用雙塔式氫氣乾燥器為全自動式，各塔輪流吸濕加熱。大型發電機選擇氫氣冷卻系統主要原因為它比空氣冷卻系統更據有以下優勢：

- (1) 高熱傳導特性：約為空氣傳熱率的 7 倍。
- (2) 氫氣壓力越高，熱傳導效果越好。
- (3) 氫氣密度比空氣低，所以風損及摩擦損較小。
- (4) 增加氫氣壓力可抑制部分放電現象。
- (5) 明顯提高發電機各元件崩潰電壓。

林口更新計畫之發電機採用氫氣冷卻發電機，其冷卻路徑如圖 3-18

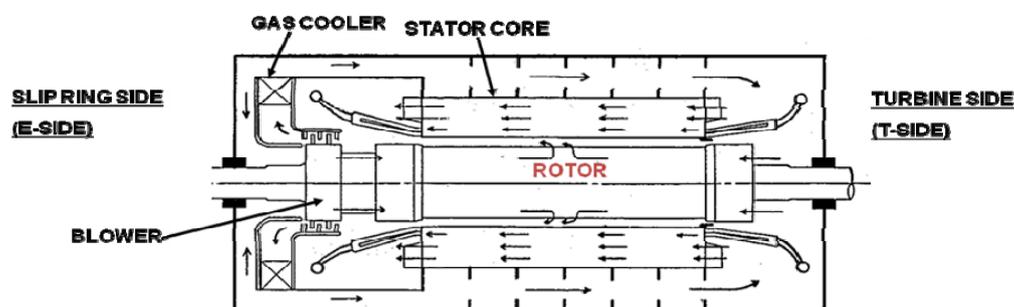


圖 3-18

鼓風機向 T-SIDE 抽氣，帶動氫氣經過氫氣冷卻器往 T-SIDE 流動，再

分別到定子線圈、轉子線圈，從定子線圈的另一側(E-SIDE)及轉子的中間流回鼓風機，此循環可以有效的將發電機線損、風損所產生的熱量帶走。平時運轉中要監視氫氣純度變化情形，並建議發電機維持在純度 97%以上運轉，氫氣乾燥器的露點溫度監視也能提供發電機內部濕氣的指標，在發電機停機時仍保持監測，停機時發電機內部因溫度降低可能產生的溼氣會破壞機內絕緣及部分金屬元件。氫氣在機內定子鐵心及轉子線圈通風孔流動而帶走各組件的熱，並經過熱交換器降溫後成為冷氫，再度進行冷卻過程循環。氫氣系統主要由供氣配置系統、氫氣乾燥器、檢水器等組成，以下將一一說明。

圖 3-19 為氫氣和二氧化碳系統簡略圖。當發電機要灌入或排除氫氣時，需要 CO<sub>2</sub> 氣體供應系統，因為 CO<sub>2</sub> 不會與氫氣產生反應；若使用空氣來置換氫氣，則會達到氫氣與氧氣混合(4~75%)自燃的爆炸上下限值之間，但氫氣純度超過 90%以上不易助燃，在此情況就不會形成爆炸危險。為了避免上述問題，CO<sub>2</sub> 就成為置換空氣與氫氣的最佳介質。在正常運轉中，氫氣壓力調整器使發電機維持氫壓設定值，一般建議氫氣壓力在 0.48Mpag 和 0.535Mpag 間，如果有洩漏，則自動從供應系統補充使壓力回復，發電機運轉中仍會有少數氫氣洩漏至封油、定子線圈冷卻水管等。

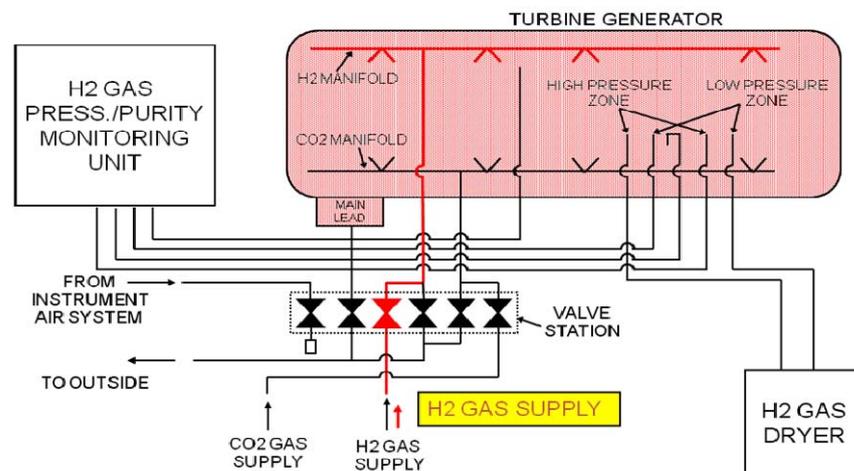


圖 3-19

氫氣乾燥器：主要功能為去除任何在氫氣系統中的水氣，林口新機組的乾燥器為雙塔式，一組為乾燥模式另一組為備用或再造模式，控制方式採用微處理自動控制系統。其結構如圖 3-20，由圖中我們可知，發電機氫氣主要經由 tower A 來吸取水氣，而此時 tower B 則利用加熱器加熱去濕劑(ACTIVATED ALUMINA)，將 tower 內的水氣給排出，完成後則為備用氫氣乾燥機台。

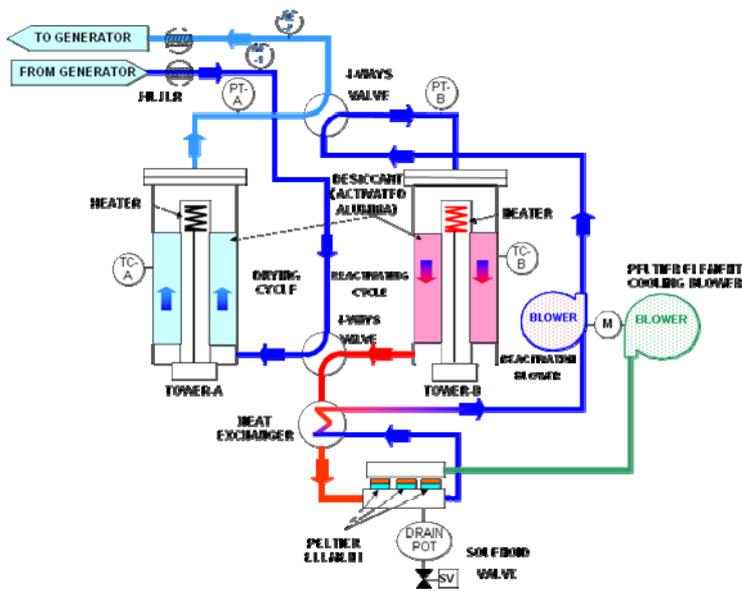


圖 3-20、氫氣乾燥器流程及實際照片

檢水器：主要用來偵測發電機內部是否有水份或油殘留，當水分累積至 450cm<sup>3</sup>，檢水器高水位警報出現，此時必須確認殘留是水或是油。水的來源主要有可能來自氫氣冷卻器的管路或是氫氣乾燥器失效造成水份殘留；油則可能要確認檢查封油系統是否有異常。

## 2.2 封油系統：

小型發電機因採空氣冷卻而沒有氫氣及封油等設備；大型發電機內更多採用氫氣冷卻乃因氫氣熱傳導效果比空氣好，密度低所以冷卻發電機時對線圈損失較少，高純度氫氣也能維持發電機內部清潔，增加發電機的效率。因為發電機的轉子線圈是靠氫氣來冷卻，所以在轉子兩端軸封處必須藉由封油系統來防止氫氣沿著轉軸外洩使氫氣和空氣混合產生爆炸危險(H<sub>2</sub> in Air 4%~75%)。林口新機組採用氫氣側封油泵及空氣側封油泵供給封油之系統，此封油系統，包括有除沫槽 (De-foaming Tank)，空氣側封油泵及氫氣側封油泵，DC 後備封油泵等。封油從氫氣側軸環回到除沫槽在槽內大部份從發電機漏入封油之氫氣被分離出來。在正常運轉時，空氣側封油壓力應高於氫氣壓力 0.085 MPa 以上，圖 3-21a 為林口新 2 機封油系統在工廠內照片，圖 3-21b 為林口新機組封油系統架構圖，以下針對封油系統各設備做簡介。



圖 3-21a

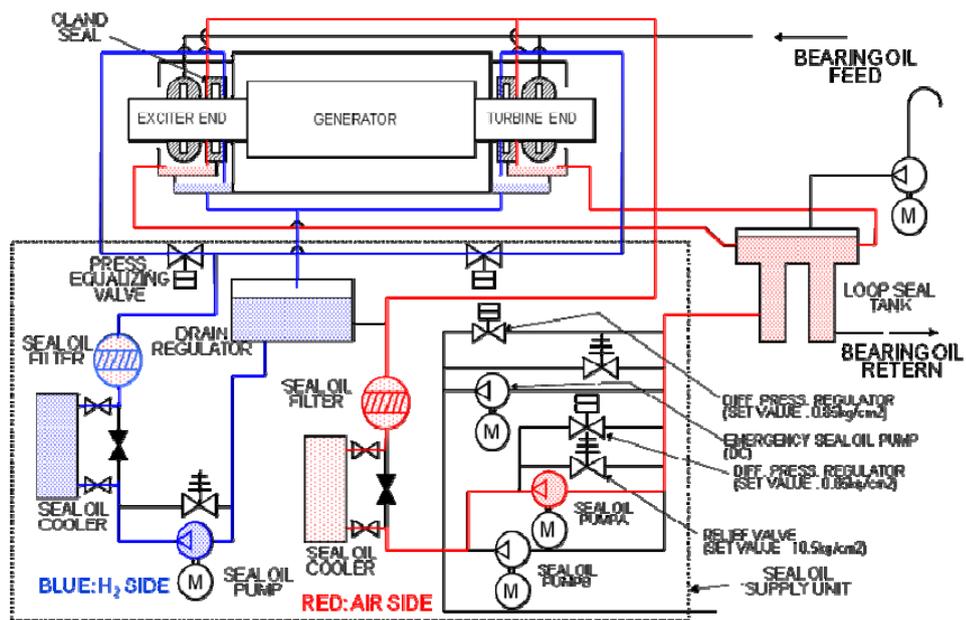


圖 3-21b 雙流式封油系統

### 2.2.1 發電機格蘭軸封

發電機兩側轉軸設有共兩組格蘭軸封(如圖 3-22)，避免機內氫氣沿轉軸洩漏而達成密封功能，從封油環上有兩道環型溝槽分別供給氫氣側封油及空氣側封油獨自流動，靠近發電機內部為氫氣側，而靠近軸承為空氣側；這樣的設計是讓空氣側封油因接觸空氣與水分後不與空氣側封油混合，減少污染機內氫氣的機會，為了將

空氣側與氫氣側兩路徑封油達到最少的混合，兩者封油壓力需相同。

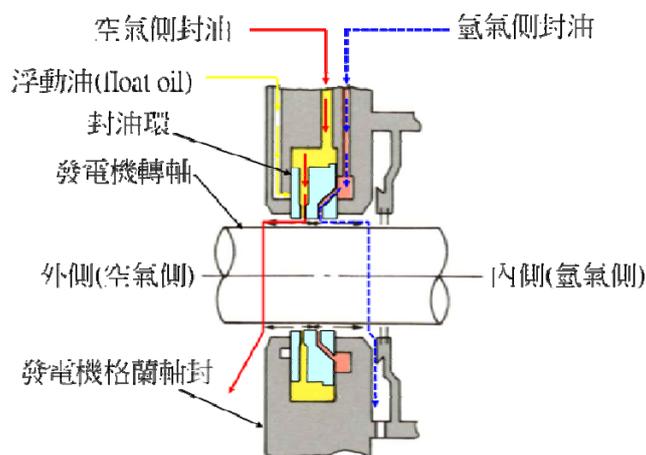


圖 3-22

### 2.2.2 空氣側封油系統

發電機軸承和空氣側封油環的迴油流至迴封槽。迴封槽有兩組洩油管路，一組供給空氣側封油泵，另一組連通主汽機的潤滑油槽，另外設有抽氣扇移除從發電機封油來的空氣和氫氣。空氣側封油系統有兩台交流封油泵和一台緊急直流封油泵並聯運轉。交流或直流封油泵的功用是使迴封槽的油經由系統打入空氣側封油冷卻器。而冷卻後的封油經過濾器流到封油環。另空氣側封油壓力藉差壓調節器維持高於氫氣壓力  $85\text{kPa}$ ，多餘的封油迴流至封油泵入口；若封油泵出口壓力超過  $1.05\text{MPa}$ ，此時釋壓閥動作使油壓不再上升以保護油泵及儀表等。

### 2.2.3 氫氣側封油系統

氫氣側封油泵從洩油調整槽將封油打入氫氣側封油冷卻器，再從冷卻器經過濾器，藉由均壓閥將油壓降至與空氣側封油壓力相等後送至封油環。氫氣側封油迴油流到除沫槽，使封油中的氫氣釋放分離，氫氣回到發電機內部，封油則流至氫氣側洩油調整槽。

### 2.2.4 格蘭（Gland）軸封浮動封油

浮動封油泵提供封油環軸向推力( $1.2\sim 1.5$  倍空氣側封油壓力)，來抵抗發電機氫氣壓力的向外推力。並使減小封油環與格蘭軸封托架間的摩擦力，使發電機軸承振動降低。

### 2.2.5 封油備援系統

2.2.5.1 後備空氣側交流封油泵：正常情況下只有一台交流封油泵

運轉，並使封油壓力高於氬氣壓力 **85kPa**。當其中一台停機或排油頭壓力降低時，另一台備用機就會自動運轉。

**2.2.5.2 直流緊急封油泵：**如果兩台交流封油泵都停止運轉或封油壓力和氬氣壓力的差壓降為 **35kPa** 的時候，直流緊急封油泵就會自動運轉。

**2.2.5.3 緊急後備補給：**直流緊急封油泵運轉時，兩台停止運轉的交流封油泵必須重新啓動或後備壓力調節器重新建立封油壓力，若以上兩種方法和直流封油泵都失去功用，剩下的唯一方法為汽機軸承潤滑油系統建立低壓封油壓力，因為封油壓力降低，故發電機內氬氣壓力也必須降低到 **14kPa**，以確保夠大的封油和氬氣的差壓。當發電機氬氣壓力降低到 **14kPa**，機組也必須跟著降載，以確保安全運轉。

## 2.2.6 封油冷卻器

冷卻器可以移除發電機封油系統和封油泵產生的摩擦熱，正常運轉時一組冷卻器運作，另一組為備用。冷卻器由不銹鋼隔板組成的板式熱交換器，冷卻水和封油在冷卻器隔板裡相反方向流動來進行熱交換。每個冷卻器在冷卻水出口裝有溫度控制閥，而封油溫度是由調節冷卻水流量來控制，另裝有旁通的手動閥作為人工控制用。

## 2.2.7 封油過濾器

裝置於封油冷卻器出口的過濾器用來去除封油裡的固體雜質，以防格蘭軸封損壞。另過濾器內裝置了手動轉盤刮板，每天需轉動數次清潔濾網(**300** 網目)。

## 2.2.8 差壓調整閥

差壓調整器(如圖 3-23)維持空氣側封油壓力大於氬氣壓力 **85kPa**，若空氣側封油壓力過高推動上方油室往上移動，帶動閥桿上升而將閥打開，使封油泵出口封油迴流到封油泵的進口，使空氣側封油壓力隨之下降。

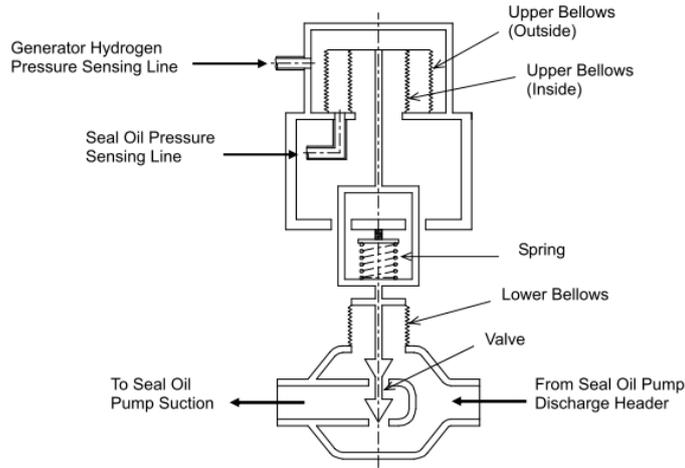


圖 3-23 差壓調整器原理圖

### 2.2.9 均壓閥

氫氣側封油經過濾器出口，設定壓力高於空氣側封油壓力 **0.1 到 0.2MPa**，但因均壓閥(如圖 3-24)的運作，使壓力降為等於空氣側封油壓力；這樣封油環上氫氣側封油與空氣側封油在轉軸上就不易混流。

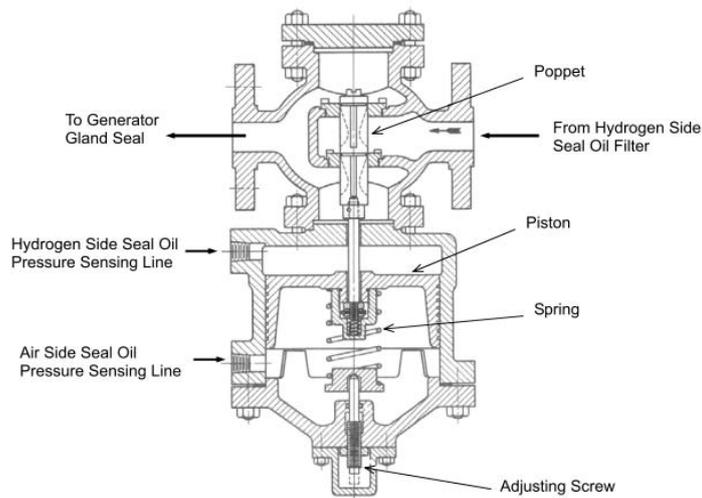


圖3-24 均壓閥原理圖

### 2.2.10 氫氣側卸油調整槽

調整槽內有兩只浮球閥(如圖 3-25)，當油位低時，進油口的浮球閥打開使空氣側封油進入補充；當油位高時，洩油口的浮球閥打開使氫氣側封油流出到空氣側封油，而氫氣側封油量固定所以調整槽油位也經常維持不變(槽中央 $\pm 50\text{mm}$ )，並設置高低油位警報開關，但發電機內氫氣壓力小於 **0.15MPa** 時，高油位

警報被隔離，因為此時調整槽將會滿油位。調整槽也提供氫氣側封油泵的進口油源。

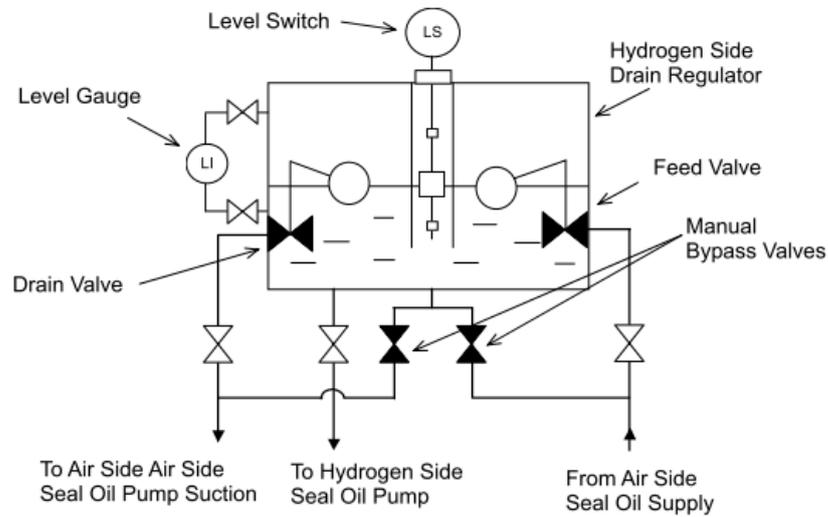


圖3-25 氫氣側洩油調整槽

### 2.2.11 迴封槽

軸承油及空氣側封油的迴油混合流到迴封槽，再分流至汽機潤滑油槽及空氣側封油泵。它避免在軸封系統失效時氫氣洩漏到主油槽內；而迴封槽上方設有抽氣扇，建立負壓 (-25~-50mmH<sub>2</sub>O)將槽內氣體抽出至大氣，並有旁通逆止閥，若瞬間大量氫氣出現則可經逆止閥快速通排氣至室外。

根據林口新林新機組的發電機封油 P&ID，其運轉的警報有下列項目：

- (1) 除抹槽油位高(汽機側) NL+30mm
- (2) 除抹槽油位高(滑環側) NL+30mm
- (3) 空氣側封油泵(A)差壓低 35kPa
- (4) 空氣側封油泵(B)差壓低 35kPa
- (5) 封油差壓低 35kPa
- (6) 氫氣側洩油調整油槽油位高低 NL±100mm
- (7) 格蘭密封浮動油泵差壓低 35kPa
- (8) 氫氣側封油泵差壓低 35kPa
- (9) 空氣側封油溫度高 52°C
- (10) 空氣側封油溫度低 43°C

- (11) 氫氣側封油溫度高 52°C
- (12) 氫氣側封油溫度高 43°C
- (13) 空氣側封油過濾氣差壓高 50kPa
- (14) 氫氣側封油過濾氣差壓高 50kPa
- (15) 封油差壓高  $\geq 0.15\text{MPa}$  MORE THAN 5 SECONDS

## 2.3 定子線圈冷卻水系統：

定子線圈冷卻水系統主要功用為提供高純度之冷卻水之循環以冷卻發電機定子線圈運轉中所產生的熱量，使發電機定子線圈能在安全的溫度下運轉，故定子線圈冷卻水的品質、水量、水壓、水溫等皆是定子線圈冷卻水系統必須考量的因素。以下針對定子線圈冷卻水系統動作原理及各元件做介紹。

### 2.3.1 定子線圈冷卻水系統動作原理介紹

發電機定子線圈冷卻水系統通常使用於 300MW 以上的發電機組，其主要功能為提供冷卻發電機定子線圈內中空導體循環的高純度冷卻水，將定子線圈的熱量帶出發電機外，保持發電機在滿載運轉時正常溫升值，當出現供給水量不足、斷水故障、導電度不良時，能利用可靠的監測裝置以供連續監視並指示水的流量、壓力、水溫及導電度，並提供發電機定子線圈冷卻水之保護系統進行自動迅速降載之設施。

圖 3-26 為林口新機組定子線圈冷卻水系統流程圖，水槽內的定子線圈冷卻水經由定子線圈冷卻水泵加壓傳送至定子線圈冷卻水冷卻器，將其從定子線圈冷卻之熱量在此進行冷卻完成。冷卻後之定子線圈冷卻水進入定子線圈冷卻水過濾器，其中一部分在必要時進入除礦器進行水質的處理後回到水槽，有效控制定子線圈冷卻水的導電度。而進入定子線圈冷卻水過濾器去除水中雜質後之定子線圈冷卻水由孔口板(orifice plate)調節流入發電機汽機端定子機座內的環形進水集管後，其中一支為經由多根絕緣之特弗龍管流入定子線圈中的空心導體，另一分支為經絕緣可撓式水管流入定子線圈的三相引線及中性點引線(phase rings)進而帶走定子線圈之熱量，定子線圈冷卻水冷卻定子線圈後再經由特弗龍管匯集於勵磁機側出口集管組，此雙路冷卻水最後從勵磁側機座上部流出發電機回到水槽形成一封閉循環。

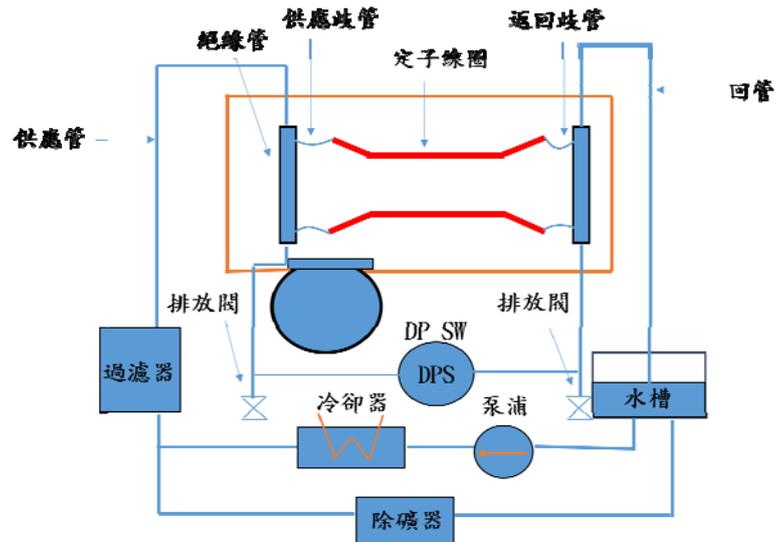


圖 3-26 林口新機組定子線圈冷卻水系統流程圖

### 2.3.2 定子線圈冷卻水系統元件介紹

發電機定子線圈冷卻水系統採用水內冷方式冷卻發電機定子線圈，其組成有水槽、定子線圈冷卻水泵，定子線圈冷卻水冷卻器、定子線圈冷卻水過濾器、除礦器、導電率表、氣體加壓系統、補水系統、管閥及定子線圈冷卻水控制盤，以下分別針對各元件之介紹。

#### 2.3.2.1 水槽

水槽為封閉循環定子線圈冷卻水系統中的一個儲水容器。冷卻定子線圈後之定子線圈冷卻水先流入水槽內。通常發電機中少量的高壓氫氣可能會由絕緣特弗龍管滲透進定子線圈冷卻水系統內，最終會匯集於水槽上部。因此在發電機運轉中，水槽上部聚集少量氫氣是屬於正常現象，如回水中如含有微量氫氣可在水槽內釋放。當水槽內部氫氣壓力高達一定值時，可經由水槽上方的洩壓閥自動排氣，水槽的另一功能為可作為溫度變化時水體積之調節。水槽通常裝設有液位開關作為警報，可用於自動補水以保持槽內正常的液位及水槽內部液位過高或過低時發出警報。通常水槽還裝設有液位計或檢視窗以提供運轉人員觀察水槽液位。

當機組運轉時，機內氫氣溫度可能偏高，同時發電機定子線圈內部循環的定子線圈冷卻水溫度又可能過低，為防止定子線圈表面有凝結水出現，部份廠商會設計在水槽內裝設

加熱裝置(可能為機組所提供之蒸汽)，以便在機組在升壓及運轉之前，先對定子線圈內部的定子線圈冷卻水進行加熱，以避免定子線圈表面出現凝結水現象。

### 2.3.2.2 定子線圈冷卻水泵

定子線圈冷卻水系統中通常裝設有兩台並聯的不繡鋼離心式水泵，兩台水泵互為備用。水泵的出口處裝設有單向止回閥以隔離兩台水泵。通常一台正常運轉時，另一台則為備用並做自動啟動，每一水泵之進出口裝設有差壓開關，以監視運轉狀況，若運轉中的水泵如有異狀會造成裝設於該水泵進出口管路的差壓開關動作，即提供警報警示及並使另一台備用水泵自動啟動，以維持定子線圈冷卻水系統的正常運轉。兩台水泵之啟動電路通常設計為互為連鎖，以確保水泵互為備用及避免兩台水泵並聯運轉情形發生。

### 2.3.2.3 定子線圈冷卻水冷卻器

定子線圈冷卻水系統中通常裝設有兩組並聯的定子線圈冷卻水冷卻器，每組定子線圈冷卻水冷卻器可提供發電機**100%**所需的熱交換功率。主要為帶走冷卻過發電機定子線圈的水所產生的熱量，正常情況下，一組為正常使用，另一組為備用。冷卻器的出口溫度控制在  $45^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

### 2.3.2.4 定子線圈冷卻水過濾器

定子線圈冷卻水系統通常裝設有兩組並聯的定子線圈冷卻水過濾器，如圖 3-27，主要功能為去除冷卻水中的雜質，避免雜質造成發電機定子線圈內中空導體的阻塞。過濾器通常為過濾  $20 \sim 50\mu$  範圍的雜質，濾網的大小約採用  $3\mu\text{m}$  或更大的範圍，林口未來新機組即採用此規格。正常情況下，一組為正常使用，另一組為備用，且由氣缸式外殼及更換過濾元件所組成。定子線圈冷卻水過濾器的兩端裝設有差壓開關，當過濾器兩端差壓到達設定值時，差壓開關動作會提供警報告之運轉人員，運轉人員應立即切換至備用過濾器，並清理或更換可能被阻塞的過濾器濾芯。過濾器可以連續使用兩年再更換，但如果過濾器前後差壓超過  $0.08\text{MPa}$ ，則必須馬上更換濾心。

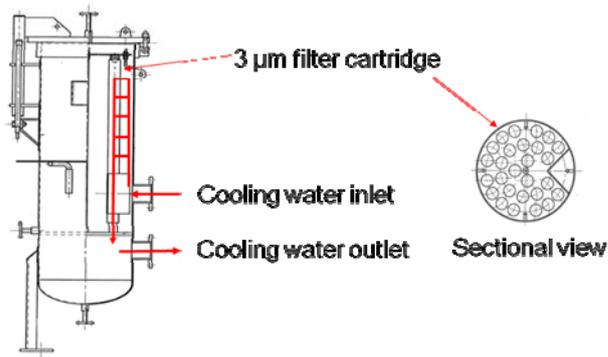


圖 3-27

### 2.3.2.5 除礦器

除礦器共設有兩組，一組為運轉，一組為後備。定子線圈冷卻水系統的功能之一為保持進入定子線圈冷卻水保持於低電導率，主要原因為避免流過特弗龍管水質的不良進而造成定子線圈對地絕緣不良的情形發生，其架構示意圖如圖二所示。定子線圈冷卻水系統在運轉時，一部分的定子線圈冷卻水會旁路經由除礦器(100L/min)，確保維持整個迴路的定子線圈冷卻水電導率符合運轉規範。流經除礦器的定子線圈冷卻水流量可進行調整，並由流量表以提供監視。正常時只需有少量的定子線圈冷卻水流經除礦器，即可達到定子線圈冷卻水系統所要求之標準，唯有在定子線圈冷卻水電導率過高時，才需增大流經除礦器的水量，圖 3-28 為除礦器結構示意圖。

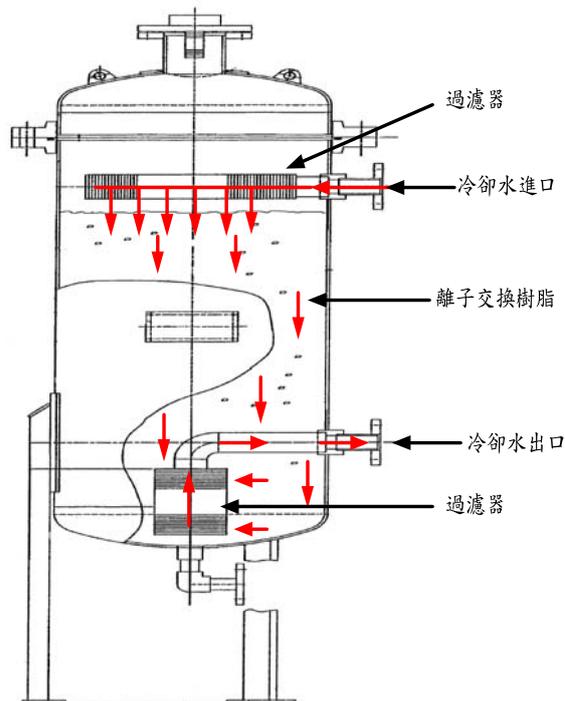


圖 3-28

### 2.3.2.6 導電率表

定子線圈冷卻水系統的導電率表裝設依各廠家不同而有不同設置數目，且其所設定警報裝置亦有所差別。一般而言在定子線圈進出口皆有裝設導電率表以監測定子線圈冷卻水迴路的電導率，另外於除礦器出口亦有裝設導電率表，用於監測除礦器出口之定子線圈冷卻水電導率。一般定子線圈進出口的電導率正常範圍應為  $0.5 \sim 1.5 \mu\text{s/cm}$ 。當電導率高達  $5$  和  $9.5 \mu\text{s/cm}$  時，即會傳送"電導率高"及"電導率非常高"的警報，而過濾器的出口電導率超過  $1.5 \mu\text{s/cm}$  時，即會傳送"過濾器出口電導率高"警報。若此警報出現即代表過濾器的樹脂已出現飽和情況。

### 2.3.2.7 氣體加壓系統:

定子線圈冷卻水系統中水槽是封閉的，部分廠家會設計於水槽水面以氫氣加壓，亦有廠家使用氮氣加壓，其中主要功用為使水槽內部為正壓，避免空氣進入對水質產生之不良影響，且使整個水系統與大氣隔離，故較不易被腐蝕，另一優點為定子線圈冷卻水之電氣導電性，不會因大氣中之二氧化碳而降低，且可提高定子線圈冷卻水泵進口的淨水頭，使其較不易產生氣蝕。因該裝置為加壓系統，故在水槽上方會裝置釋放閥，如水槽內部氣體壓力超過設定值，則會出現警報及打開釋放閥。

### 2.3.2.8 補水系統

定子線圈冷卻水之補水進口通常皆至鍋爐的凝結水系統或除礦器系統，補給水依序經過補水過濾器、減壓閥，電磁閥(或旁路閥)，流量開關和除礦器，最後流入水槽內，電磁閥主要由水槽的水位控制開關進行動作，保持水槽內的水位。另外為了防止補充水進水壓力過高，進水管路還有裝設洩壓閥以進行保護。

### 2.3.2.9 管閥

定子線圈冷卻水系統中所有管路及定子線圈冷卻水所接觸之任何元件皆採用抗腐蝕性材料。

## 2.3.3 定子線圈冷卻水系統運轉監視與保護

2.3.3.1 定子線圈冷卻水系統所提供之運轉監視警報及保護，係根據廠家所設計而有所差異，根據林口新機組定子線圈冷卻水系

統的 P&ID 圖，可知警報項目如下：

- (1) 定子線圈冷卻水出口壓力低 0.35MPag
- (2) 定子線圈冷卻水過濾差壓高 0.08MPag
- (3) 定子線圈冷卻水槽氣體壓力高 0.08MPag
- (4) 定子線圈冷卻水槽水位高 200mm
- (5) 定子線圈冷卻水槽水位低 100mm
- (6) 定子線圈冷卻水差壓非常低 0.07Mpa
- (7) 定子線圈冷卻水進口導電度高 5 $\mu$ s/cm
- (8) 定子線圈冷卻水進口導電度非常高 9.55 $\mu$ s/cm
- (9) 定子線圈冷卻水除礦器出口導電度高 0.5 $\mu$ s/cm
- (10) 定子線圈進口冷卻水溫度高 55 $^{\circ}$ C
- (11) 定子線圈出口冷卻水溫度高 90 $^{\circ}$ C
- (12) 定子線圈冷卻水差壓高 0.23MPa
- (13) 定子線圈冷卻水差壓低 0.11MPa
- (14) 定子線圈冷卻水差壓低 0.11MPa (不同感應器)

2.3.3.2 以下為當各警報出現時，運轉操作人員必要處理方式。

#### 2.3.3.2.1 定子線圈冷卻水泵停止

定子線圈冷卻水系統的每台定子線圈冷卻水泵出口皆裝設有差壓開關，當運轉中的冷卻水泵前後差壓值到達設定值，即會發出定子線圈冷卻水泵停止警報告知運轉人員。一般設計運轉中的定子線圈冷卻水泵會與備用水泵互為連鎖，當此警報出現時，備用水泵應為立即啓動，以維持定子線圈冷卻水系統的正常運轉。

#### 2.3.3.2.2 定子線圈冷卻水過濾器差壓高

運轉中之定子線圈冷卻水過濾器如發生阻塞情形，造成冷卻水流量減少，裝設於兩組定子線圈冷卻水過濾器兩端之差壓開關應立即動作，定子線圈冷卻水過濾器差壓高警報出現，如果差壓警報器三組內有兩組出現，系統會自動跳脫發電機組。運轉人員接獲此警報應立即啓用備用定子線圈冷卻水過濾器，並關閉阻塞之定子線圈冷卻水過濾器前後關斷閥，進行濾心的拆除更換或清洗，以作備用。

#### 2.3.3.2.3 補給水補充過多

定子線圈冷卻水系統在運轉中雖為封閉式的循環系統，但仍會有些微的冷卻水洩漏，所洩漏之水源由補水系統進行補充。若定子線圈冷卻水泵的機械密封元件或定子線圈冷卻水的部分元件或管路出現破損時，即可能出現較大的洩漏情形，若洩漏量過大，則會導致補給水補充過多，該警報即會出現警示。

#### 2.3.3.2.4 進水溫度高及出水溫度高

進水溫度及出水溫度一般指為流進發電機環形進水集管及流出發電機環形出水集管之冷卻水溫度。進水溫度通常保持溫度於 50°C 以下，一般設定範圍為 35~40°C，出水溫度通常保持溫度於 75°C 以下，不超過 90°C 為原則，以避免定子線圈冷卻水出現沸騰情形。於若進水溫度高警報出現可能為定子冷卻水冷卻器冷卻效果不足，應立即檢查定子線圈冷卻水冷卻器外部冷卻水流量是否不足，若為出水溫度高警報，運轉人員應立即查明原因或先以降載因應處理。

#### 2.3.3.2.5 水槽液位過高及水槽液位過低

水槽水位超過所設計之設定值時或低於設計之設定值時，會出現警報警示。如為水槽液位過高，需檢查所連接之管路是否有電磁閥或其他閥件有被開啓之情形，若水槽液位過低警報出示，則需檢查管路是否有洩漏情形，亦可由發電機檢水器檢查是否有過多水分排出。

#### 2.3.3.2.6 水槽壓力過高

水槽於機組運轉中會有微量氫氣沿著定子線圈冷卻水進入水槽內，當水槽內部壓力高達設定警報壓力，水槽壓力過高警報會警示，並在水槽上方設計洩壓閥自動排氣。此警報在發電機啓動時最常出現，因發電機停機時，定子線圈冷卻水系統停用，形成定子線圈冷卻水管路內部壓力較低，機內氫氣壓力較易滲入定子冷卻管路，故於發電機啓動時，會進行定子線圈冷卻水之沖放，以去除管內氫氣。

#### 2.3.3.2.7 定子線圈冷卻水差壓高或低

此警報出現必須判斷定子線圈冷卻水管路是否有堵住或是其他原因造成。

#### 2.3.3.2.8 除礦器出口導電度高

此警報出示為代表進入除礦器之定子線圈冷卻水未進行淨化完成，應切換至備用的除礦器，並需檢查原使用除礦器功能是否正常。

#### 2.3.3.2.9 定子線圈進口導電度高及定子線圈進口導電度非常高

一般在定子線圈冷卻水定子線圈進口會設計導電度表以檢視進水之定子線圈冷卻水導電度是否正常，如有異常則會出現定子線圈進口導電度高警報，若導電度超過第二段的設定值，則會出現定子線圈進口導電度非常高警報。

### 2.3.4 林口新機組發電機定子線圈冷卻水系統之運轉與控制簡介

依據三菱電機所提供之相關資料，可概括出林口新機組發電機定子線圈冷卻水系統之運轉全貌，首先林口新機組發電機定子線圈冷卻水系統之運轉啓用，必須在發電機啓動及發電機轉子通電之前即需進行運轉。且在發電機運轉前，定子線圈冷卻水系統之水槽需進行氫氣加壓，以減少水中溶解氧的存在，防止定子線圈冷卻水系統管路的腐蝕。

在發電機運轉時，本套系統之定子線圈冷卻水流量需經由調節器將定子線圈冷卻水調節至所需設定值，以利進行有效冷卻。另本套系統於定子線圈冷卻水進出口歧管之間裝設三組差壓開關及一組流量計進行差壓及流量之監控，並以差壓開關三取二的邏輯方式進行發電機的保護。

關於本套系統的定子線圈冷卻水導電度要求方面，定子線圈進口及出口導電度需低於  $5\mu\text{s}/\text{cm}$ ，除礦器之出口導電度需低於  $0.5\mu\text{s}/\text{cm}$ 。

在系統正常操作時，供給發電機定子線圈之冷卻水源是由單台定子線圈冷卻水泵提供，如果運轉中之定子線圈冷卻水泵的出口壓力降至  $0.35\text{MPa}$  時，備用定子線圈冷卻水泵應自動啓動以提供冷卻發電機定子線圈之水源。

冷卻過定子線圈後之定子線圈冷卻水會流經定子線圈冷卻水冷卻器以進行冷卻。本套系統通常為單組冷卻器使用，另組冷卻器為備用。且本套系統定子線圈冷卻水溫在冷卻器出口正常設定於 45℃和 50℃之間，以確保定子線圈冷卻水溫足以冷卻全載下的發電機定子線圈。

本套系統之除礦器是以通過少量流出水槽之定子線圈冷卻水，以進行導電度之調整，流經除礦器之水流量可經由該設備之手動閥進行調整。

而流出冷卻器之定子線圈冷卻水則進入過濾器。該過濾器之功能主要為過濾定子線圈冷卻水系統管路中之雜質。定子線圈冷卻水流出過濾器後會先流經發電機定子線圈空心導體進口之過濾器後進入定子線圈空心導體。再完成定子線圈空心導體之冷卻後，經由出口歧管流回水槽，完成整個定子線圈冷卻水系統循環。

本套發電機定子線圈冷卻水系統提供了以下四種控制方式，定子線圈冷卻水流量控制、水溫控制、水槽水位控制、水槽壓力控制。茲分別介紹如下。

#### 2.3.4.1 定子線圈冷卻水流量控制

定子線圈冷卻水流量控制方式包含以下冷卻水流入定子線圈流量控制及冷卻水流入除礦器流量控制。

#### 2.3.4.2 冷卻水流入定子線圈流量控制

此控制為於定子線圈冷卻水過濾器下游裝設流量計以監控流入定子線圈之冷卻水量，再利用冷卻器進口閥進行調節到設計值。

#### 2.3.4.3 冷卻水流入除礦器流量控制

於除礦器迴路裝設流量計以調整及監控流入除礦器的水流量，水流量每分鐘調節量可設定為 100 至 150 公升之間。

#### 2.3.4.4 水溫控制

定子線圈的熱量被封閉的循環冷卻水吸收，並於定子線圈冷卻水冷卻器將熱量去除。水溫控制方式為於定子線圈冷卻水冷卻器出口裝設溫度檢測器，該接收之信號傳送至溫度控制器，以操作定子線圈冷卻水系統管路上的控制閥進行所需溫度之控制，溫度控制閥的定子線圈冷卻水溫度達到設定值。而定子線圈冷卻水溫度一般在發電機滿載時，通常操作在

45°C~50°C。

#### 2.3.4.5 水槽水位控制

由於定子線圈冷卻水系統為屬封閉循環系統，於系統中冷卻水量幾乎維持恆定。但是在正常運轉之中仍有可能些微洩漏需要進行補充，所謂的水槽水位控制方式即為當水槽水位低於正常水位 100mm 時，水槽低水位警報動作警示，運轉人員需以手動方式進行補水以維持水槽之正常水位。

#### 2.3.4.6 水槽壓力控制

林口未來新機組定子線圈冷卻水系統裝設有氫氣加壓系統，其氫氣來源由發電機氫氣系統提供，故水槽內部上側為氫氣加壓。由於發電機之設計，氫氣壓力大於冷卻水，在發電機運轉時，少量的氫氣會經由絕緣軟管滲透入定子線圈冷卻水系統中，水槽內部氫氣壓力仍會增加，因此通常水槽內不需要重新進行氫氣補充。

水槽壓力控制為於水槽頂端設置洩壓閥，當槽內壓力達到 50kPa 時，該洩壓閥即會動作，以將過量的氫氣洩放置大氣。當進行壓降至洩壓閥之關閉設定壓力時，洩壓閥即自動關閉。因此，水槽內氫氣壓力均可維持在洩壓閥的動作及關閉壓力之間。且因經由絕緣軟管滲透入定子線圈冷卻水系統之氫氣量屬微量洩漏。故水槽之洩壓閥即少動作，若洩壓閥動作頻繁即代表發電機系統有洩漏之可能。

### 3. 發電機運轉相關曲線

#### 3.1 特性曲線 (Characteristic Curve)

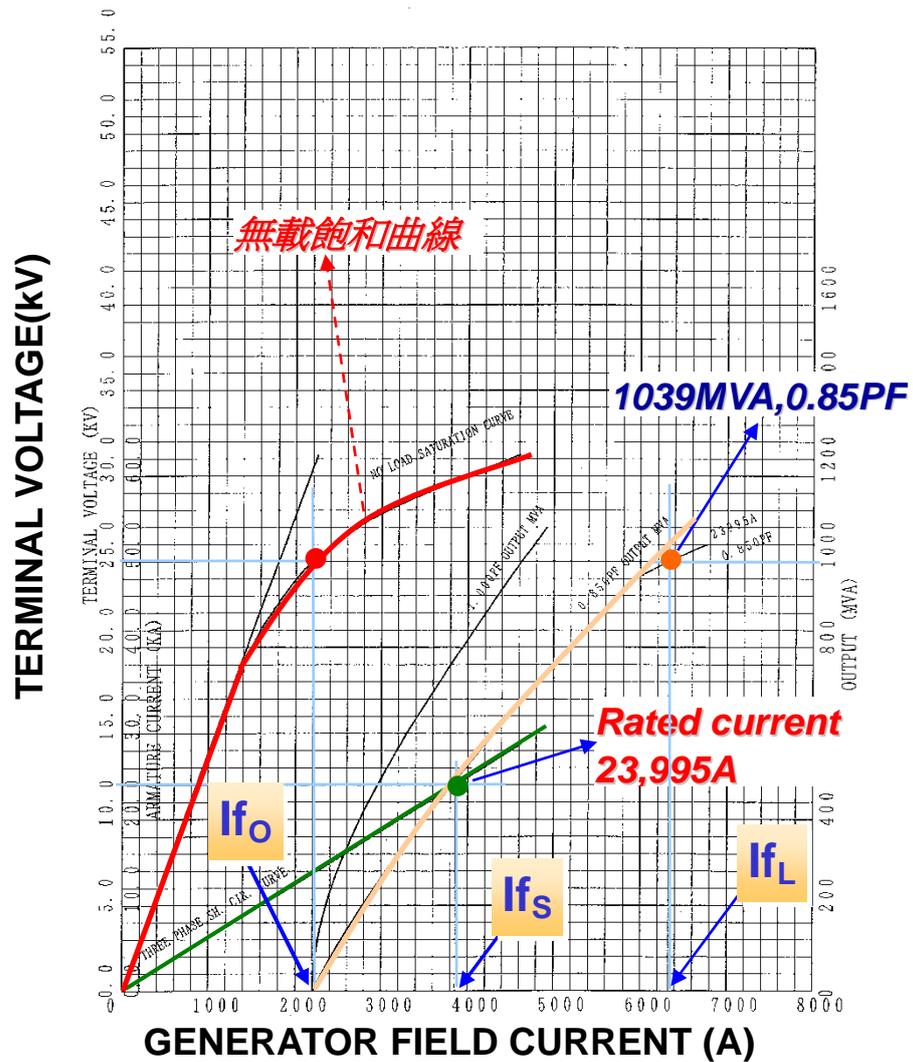
**If<sub>o</sub>**：發電機開路（定子線圈 3φ 開路）試驗中將激磁電流增加，當定子線圈電壓達到額定電壓時之激磁電流值

**If<sub>s</sub>**：發電機短路（定子線圈 3φ 短路）試驗中將激磁電流增加，當定子線圈電流達到額定電流時之激磁電流值

**If<sub>L</sub>**：當定子線圈達到額定電壓/電流時之激磁電流值，因發電機容量大，如林口案 1039MVA，於工廠內無法實際供應如此容量之電力測試，故 **If<sub>L</sub>** 由開路及短路試驗數據推算得出

無載飽和曲線：發電機未並聯取載時激磁電流與端電壓之關係

短路比 (SCR) =  $I_{fo} / I_{fs}$



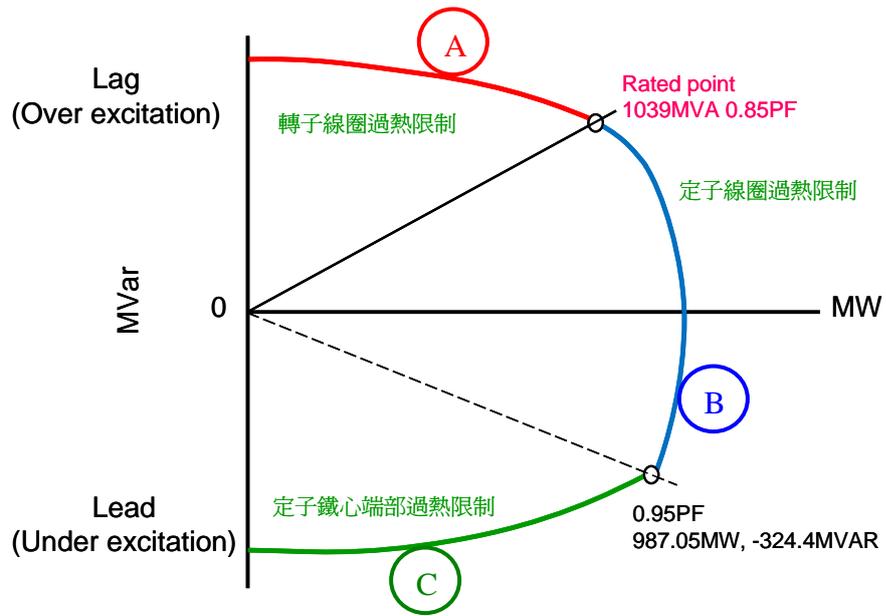
### 3.2 運轉能力曲線 (Capability Curve)

曲線 A 段內：轉子線圈過熱限制安全區

曲線 B 段內：轉子線圈過熱限制安全區

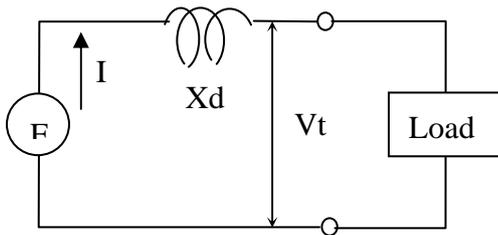
曲線 C 段內：定子鐵心端部過熱限制安全區

故，發電機必須運轉在 A、B、C 連成之曲線範圍內，實務上需配合 MEL (Minimum Excitation Limit)、OEL (Over Excitation Limit) 等設定以確保發電機運轉安全無虞。

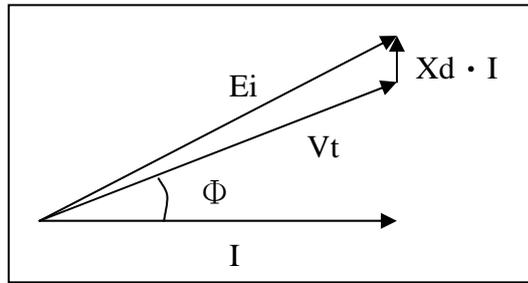


### 3.3 電壓曲線 (V Curve)

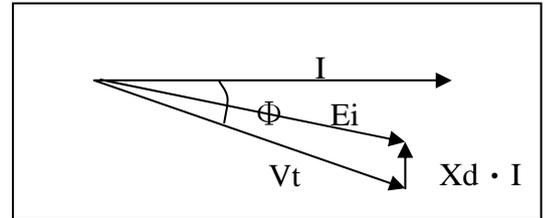
顯示激磁電流與發電機輸出之關係



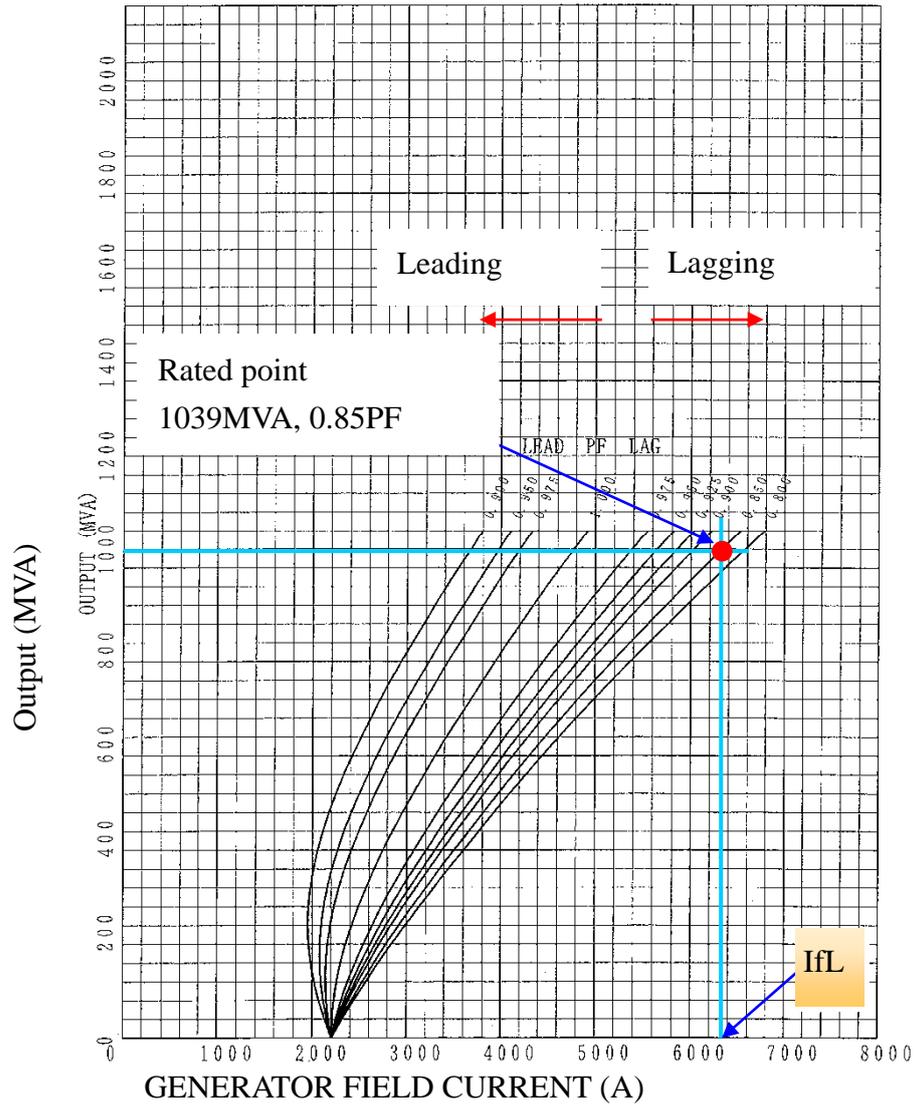
- I: Line current
- Vt: Terminal voltage
- Ei: Internal electromotive voltage
- $\Phi$ : Power factor
- Xd: Reactance



Lagging



Leading



#### 4. 自動電壓調整器 (AVR-Automatic Voltage Regulator) 及勵磁系統 (Automatic Voltage Regulator and Excitation System) :

如三、1.1 中說明，發電機需具備旋轉磁場切割線圈才會產生電流，激磁系統即是輸入激磁電流 (Field Current) 至轉子線圈產生磁場，轉子轉動產生旋轉磁場切割定子線圈產生電流，發電機由汽輪機帶動將機械能轉換為電能，AVR 及激磁系統經由調整磁場電流來控制發電機電壓，圖 4-1 為架構圖，圖 4-2、3 為 AVR 及 Static Excitation 控制盤外形圖。

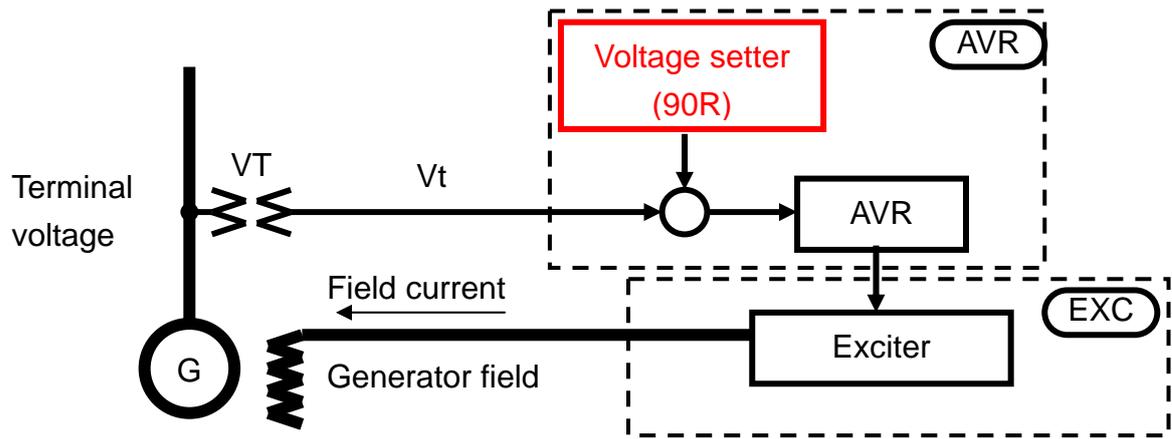


圖 4-1 自動電壓調整器及勵磁系統架構圖

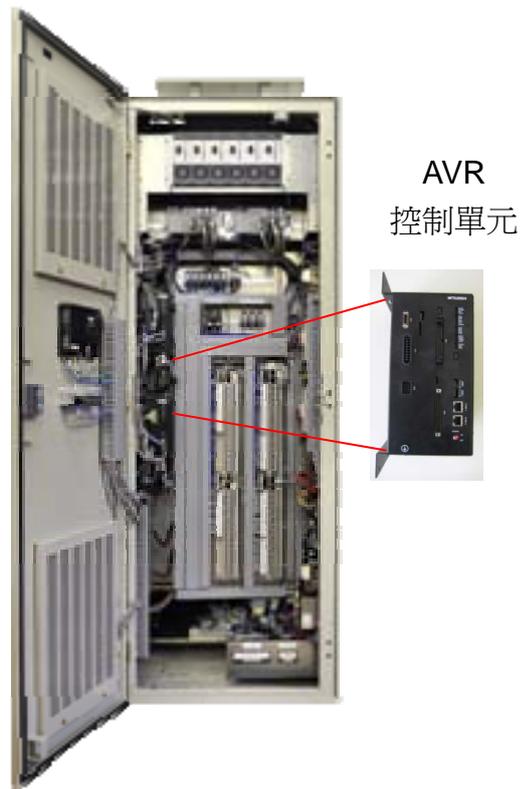


圖 4-2 AVR 控制盤

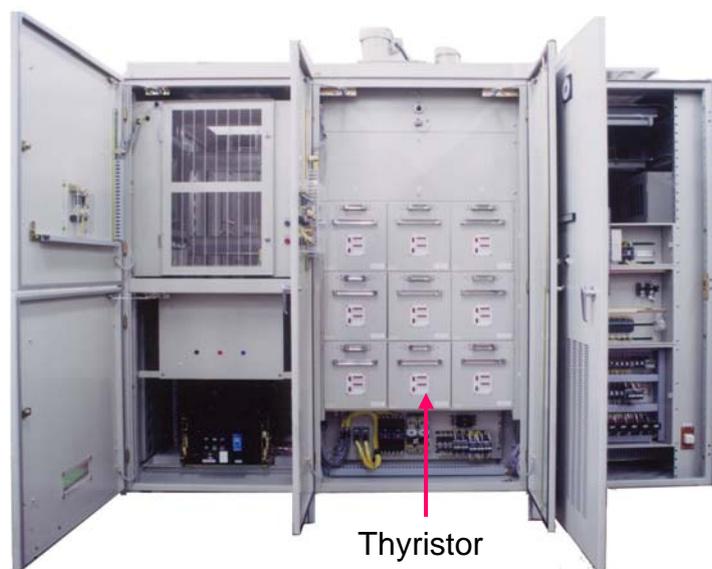


圖 4-3 Static Excitation 控制盤

### 3.1 基本規格：

#### 3.1.1 勵磁變壓器：

項目	規格
額定容量	12250 kVA
一次側額定電壓	25 kV
二次側額定電壓	1230 V
阻抗電壓 (%Z)	10.2

#### 3.1.2 勵磁機：

項目	規格
額定輸出功率	3850 kW
額定輸出電壓	550 V
額定輸出電流	7000 A
額定磁場電壓 (滿載)	476 V
額定磁場電流 (滿載)	6325 A

截止電壓 (Ceiling Voltage)	1428 V
------------------------	--------

### 3.1.3 閘流體整流器 (Thyristor Rectifier) :

項目	規格
型式	3 相全波整流
閘流體型號	N750CH30
峰值逆電壓 (Peak Reverse Voltage)	4200 V
並聯閘流體數 (Number of Parallel)	7 (含 1 組線上備援)

### 3.2 AVR 及勵磁系統架構 :

AVR 模組有 2 套為線上備援 (On Line Redundant) 設計, 模組 A、B 同時運作, 模組 A 為預設主控制器, 模組 B 為備援, 當模組 A 異常會自動切換至模組 B。AVR 模組擷取發電機及勵磁系統電壓、電流等資料, 比較電壓設定器 (90R) 及發電機端電壓, 計算後發出點火觸發角度信號給閘流體, 供應激磁電流給發電機轉子磁場線圈, 圖 4-4 為系統架構圖。

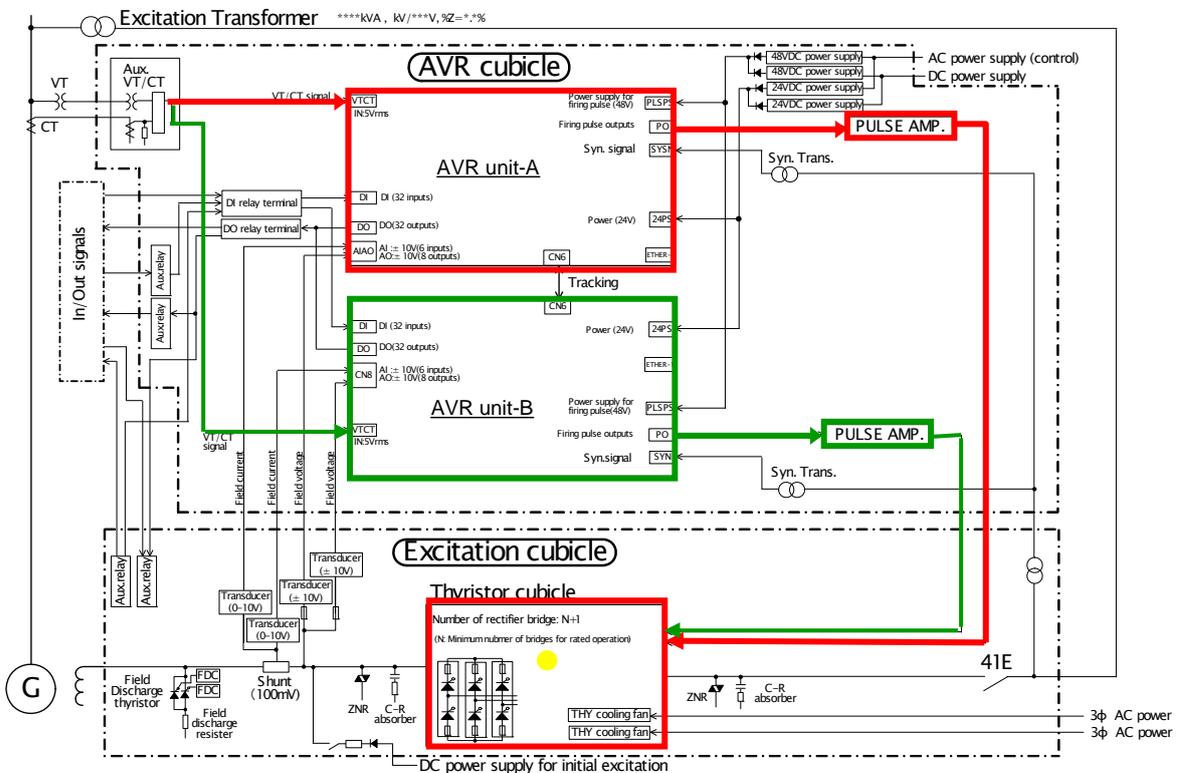


圖 4-4

勵磁系統主要設備為勵磁變壓器、勵磁開關（41E）及閘流體（Thyristor），閘流體共有 7 個 bridge 並聯同時運作，若其中一個 bridge 異常仍可正常運轉，每一個閘流體元件可互換。

### 3.3 AVR 主要功能：

#### 3.3.1 調整發電機端電壓

AVR 量測發電機端電壓（ $V_t$ ）與電壓設定器（90R）比較。

若  $V_t > V_{90R}$ ，AVR 指令勵磁機（Exciter）降低磁場電流，使  $V_t$  下降。

若  $V_t < V_{90R}$ ，AVR 指令勵磁機（Exciter）增加磁場電流，使  $V_t$  上升。

#### 3.3.2 調整虛功（Reactive power - MVars）

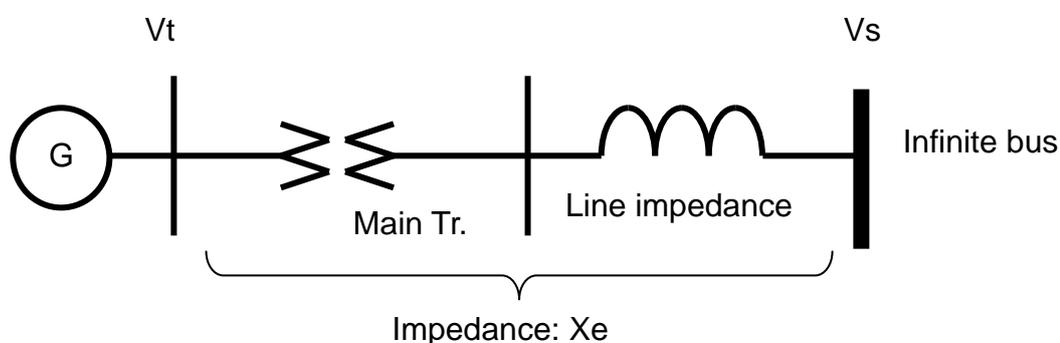


圖 4-5

$$\text{虛功 } Q = (V_t - V_s) * |V_t - V_s| / X_e$$

由公式可知系統電壓（ $V_s$ ）、變壓器及線路阻抗（ $X_e$ ）幾乎為定值，依靠調整電機端電壓才可能得到較大之虛功調整範圍。

90R 調升， $V_t$  上升，虛功增加。

90R 調降， $V_t$  下降，虛功減少。

#### 3.3.3 改善電力系統穩定度（Power System Stability）：

當電力系統故障，發電機負載突然降低，如一條線路發生 3 相短路故障，發電機輸出功率驟降，故障清除後，負載回復過程中 PSS 會協助將變動幅度降低，變動時間縮短，可改善暫態及動態穩定度。

3.3.3.1 暫態穩定度改善，端賴勵磁系統快速反應（High Initial Response）之特性，當輸電線發生短路故障，系統電壓快速下降，AVR 指令勵磁機提高磁場電壓以維持發電機端電壓穩定，若無法維持電壓穩定，極易造成發電機無法與系統同步（如圖 4-6）。

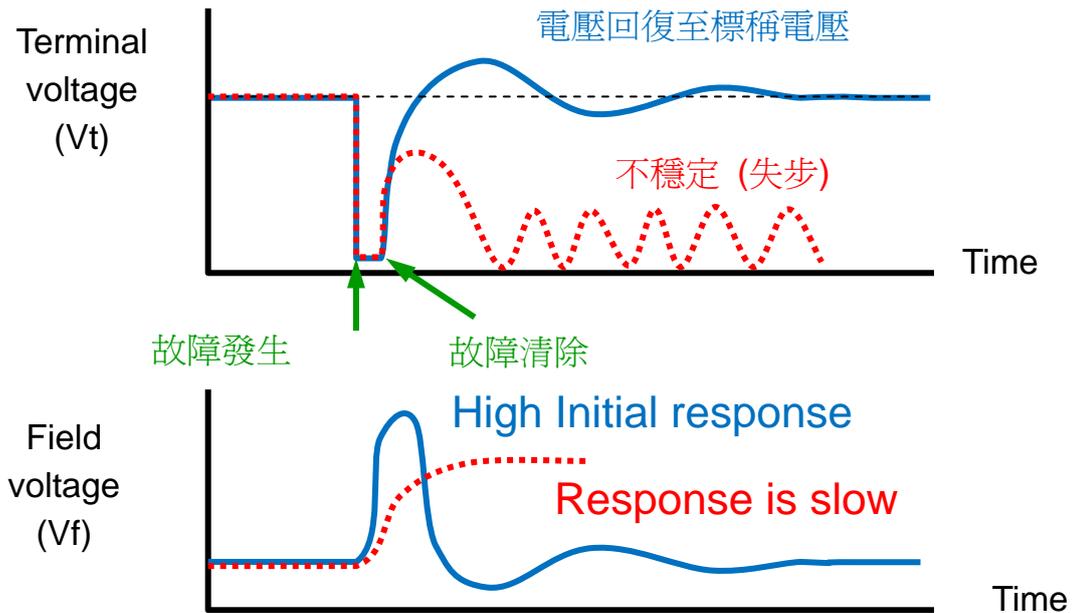


圖 4-6

3.3.3.2 動態穩定度改善，主要依靠 PSS (Power System Stabilizer)，屬於 AVR 附屬軟體功能。PSS 快速反應系統運轉上的變動，調整勵磁系統輸出減少系統擺盪 (swing)，如圖 4-7。

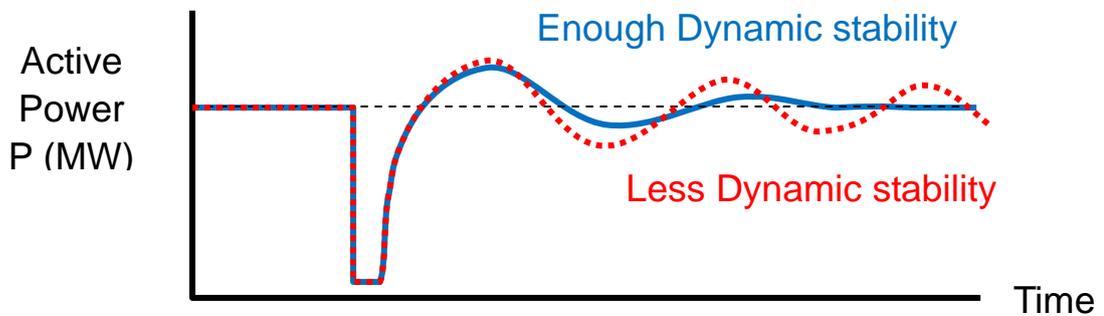


圖 4-7

3.3.3.3 抑制負載跳脫後之過電壓：在極端狀況下，輸電線路全部跳脫，發電機由滿載或高載降至空載，發電機端電壓快速上升，激磁電流、電壓須快速降低使發電機端電壓下降並維持穩定，其它負載跳脫後之狀況亦類似，如圖 4-8 所示。

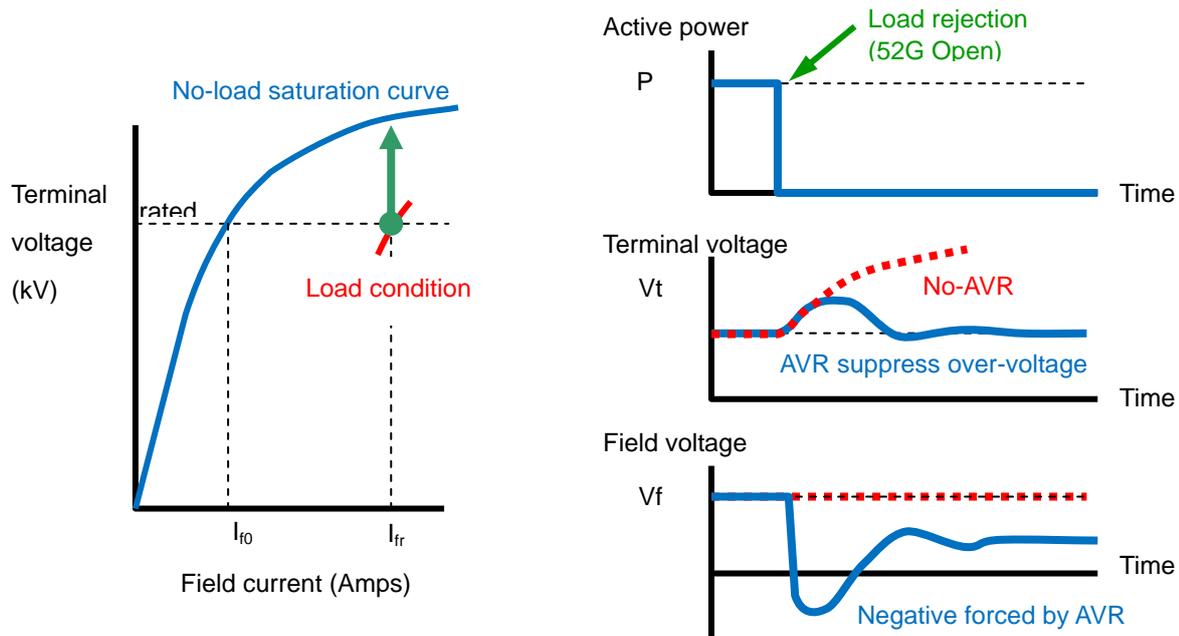


圖 4-8

### 3.4 控制模式：

#### 3.4.1 自動模式 (AUTO Mode)：

調整使發電機端電壓為固定，亦稱定電壓模式 (Voltage Constant Mode)。

#### 3.4.2 手動模式 (Manual Mode)：

調整激磁電流使激磁電壓為固定，亦稱磁場電壓固定模式 (Field Constant Mode)，本模式僅限於 PT、Analog Input 故障或測試時才可使用，。

### 3.5 保護功能：

3.5.1 Over Excitation Limiter (OEL)：限制過度激磁幅度，避免轉子線圈過熱情形發生。

3.5.2 Minimum Excitation Limiter (MEL)：限制欠激磁程度，防止定子鐵心端部過熱。

### 3.6 其它控制功能：

3.6.1 Power System Stabilizer (PSS)：改善電力系統穩定度，快速降低系統擺盪 (Swing)

3.6.2 Line Drop Compensator (LDC)：當升壓變壓器產生電壓降，提供電壓補償。

#### 四、心得及建議：

本次有機會到日本 MELCO 接受發電機及勵磁機等為期 4 周之課程訓練，首先要感謝公司各級長官給予我們這個機會，可以專心到設備廠家學習，除工作技能外也可實地了解神戶當地的風土民情，雖然為期不長，但也比旅行團的走馬看花有較為深刻的體驗。

因課程時間充足，課程內容之安排也相當完整，且上課地點為發電機設計及製造工廠，可直接到工廠了解製造過程，若時機剛好可進一步看到較細部之構造（如定子內部構造、轉子線圈安裝等），與課堂上內容可相互對照，平均每週都有二次以上，每次 1~4 小時不等的時間到廠內了解相關設備製作過程，發電機這麼大型的設備，一旦於現場安裝完成，除非大修期間，否則不可能拆解來看，但大修時因有時程壓力，也不可能慢慢了解各項設備，實屬相當難得的經驗與學習課程，看到實際設備可讓規範及相關程序書上的文字活了起來，原本透過文字想像的東西，見到實物更易串聯、了解。

生活上，課程期間與 MELCO 講師及相關人員有較深入互動，發現他們對公司交辦的事項有很深的責任感但工作壓力也相對沉重，每位講師都準備相當充分的資料來授課，提問過程有他們不清楚的地方也會馬上電話詢問相關人員提出解答。做事按部就班、照表操課，中午在餐廳每個人依序排隊吃飯，秩序相當良好也不會喧嘩，取餐、結帳速度相當快速；對照在路上的車輛也是井然有序，駕駛很有耐心、不超車、不亂按喇叭、禮讓行人，路上極少看到交通警察，交通安全相當令人安心，以上小地方都值得我們學習。

由於公司人力斷層緣故，近年招考相當多之新進人員，在經過數年的實際工作後若能有機會到設備原設計、製造廠接受訓練，可將規範之文字敘述與實際設備相對照，對其設計原理、構造有更深入之了解，對往後工作之推展必有相當大之助益，林口新建案適逢種種因素造成公司財務狀況不佳，受訓人數大幅縮減，建議公司在財務狀況許可下適度增加國外訓練名額，對人才之培訓有莫大之助益。