

出國報告（出國類別：實習）

核能電廠發電機老化更新技術研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：吳鴻明 核能工程監

派赴國家：美國

出國期間：100.08.28~100.09.10

報告日期：100.09.28

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：核能電廠發電機老化更新技術研習

頁數_30_ 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/（02）23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

吳鴻明/台灣電力公司/核能發電處/核能工程監/（02）23667065

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：100.08.28~100.09.10

出國地區：美國

報告日期：100.09.28

分類號/目

關鍵詞：汽輪發電機

內容摘要：（二百至三百字）

- 一、 發電機定子鐵心矽鋼片與變壓器所使用矽鋼片不同，發電機定子矽鋼片為避免磁飽和必需詳細考量槽齒設計。發電機鐵心矽鋼片在積疊後在鐵心背部接地（與發電機框架直接接觸），故積疊過程中無接地檢查項目，但需避免第二點接地，在積疊完成後以 ELCID 檢查渦電流大小，尤其在發電機末端鐵心部份因漏磁通及進相運轉之加磁作用，常處在較高溫度下運轉，鐵心皮膜較易受損，尤其需要作鐵心渦電流檢測以檢查有無短路故障，在定子線圈重繞時可考慮末端鐵心加以更換。
- 二、 新型設計發電機定子線圈在製造中期即有轉位設計，線圈組合完成後在終端以銅板全部短路，如此設計可以加快線圈與線圈之連接，亦可提高線圈鋼性，減輕振動影響。惟需注意此型線圈端點面積較大焊接工作困難度較高，焊接工作需原廠認可專業人員進行此項工作以確保焊接品質。

三、 若發電機進行重繞工程，需注意原有定子線圈拆卸過程，不可損傷定子鐵心，線圈拆卸完成鐵心必需進行全鐵心回圈試驗（Full core loop test）以了解是否有矽鋼片短路而產生熱點，試驗時所加入磁通量以設備說明書額定磁通量為參考，應注意勿使鐵心過飽和。

目錄

壹、目的.....	1
貳、過程.....	1
一、 研習過程	1
二、 發電機設計及製造	1
參、心得.....	29
肆、結論與建議.....	30

壹：目的

本公司營運中之核能機組商轉迄今均已超過 25 年，其中核一廠已超過 30 年，發電機定子與轉子組件均有老化跡象，若發電機組於運轉中突然發生故障，可能導致相關連設備發生故障，影響核能安全。尤其因應日本 311 福島核災事故之後，外界對核能電廠的安全更為關切，核電廠重要發電組件的安全可靠已成為社會大眾關注的重點，因此為維持機組運轉安全與可靠提昇核能安全，發電機更新工作必須積極規劃執行。評估更新的方式有『發電機定子線圈重繞、定子鐵心整修或更新、轉子整體更新...等』，近年來發電機老化更新技術已成為歐美等先進國家各核電廠更新的重要策略並已累積相當的經驗，因此有需要至發電機原製造廠家，學習並蒐集發電機之製造及更新技術，以為本公司執行發電機更新計劃時之參考，並提供資訊交流及經驗分享，以提昇核能安全。

貳：過程

一、研習過程

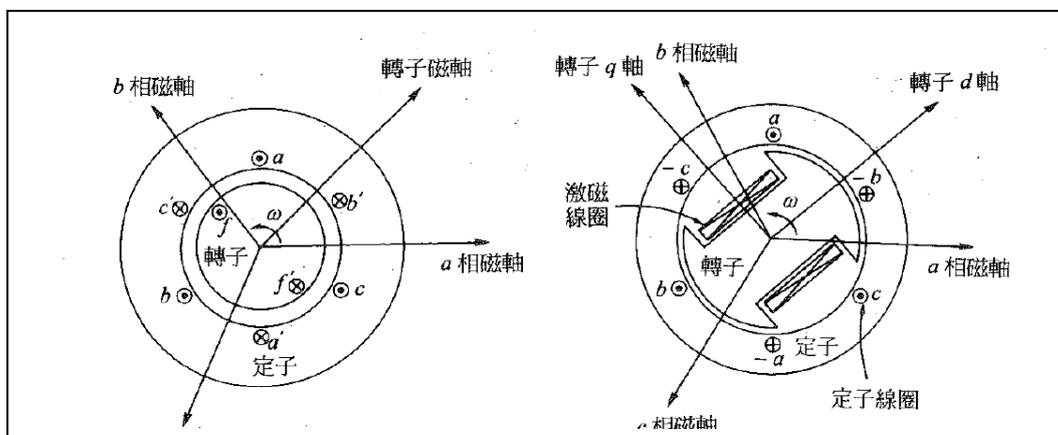
- 8/28 日~8/29 日----- 行程 台北-舊金山(過境)- 奧蘭多
- 8/30 日~9/1 日---- 奧蘭多美國西門子公司總部：研習發電機設計及發電機模型介紹與發電機定子線圈重繞。
- 9/2 日~9/6 日----- 夏洛特(北卡洲)美國西門子發電機組廠:研習發電機定子鐵心、轉子製造。
- 9/7 日~9/8 日----- Fort Pyne(宿 亞特蘭大):研習發電機定子轉子線圈製造。
- 9/9 日~9/10 日----- 返程 亞特蘭大-舊金山-台北。

二、發電機設計及製造

1、同步電機已廣泛使用在電力系統及工業應用中，其中有關電力系統方面的應用，主要係利用同步發電機將水力、火力及核能的力轉換為電能。目前的發電機主要仍以同步發電機為主，主要原因為其輸出頻率與旋轉速度成正比，可以輸出實功率及虛功率，以及輸出容量大。至於在工業應用中主要為同步電

動機的定速或變速控制，以及可作為同步電容器來進行功率因數的改善等。

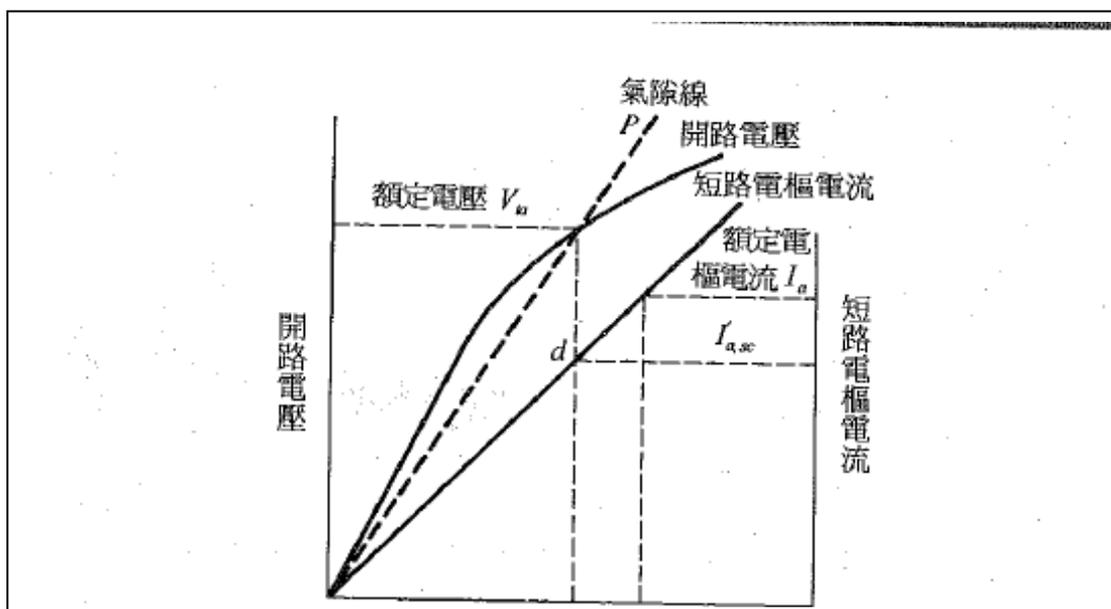
2、同步電機依能量轉換功能不同，依結構區分為圓筒型及凸極式兩種。



圓筒型轉子其結構為完全對稱，故空氣隙為均勻分佈，對應磁動勢也呈現均勻空間正弦分佈，在電機特性上分析，無論暫態或穩態，均較凸極式簡單；凸極式轉子結構中，因其空氣隙為非均勻分佈，分析上較為困難，一般均以直軸—交軸（d-q）理論進行相關分析，其方法為定義凸極方向為 d 軸，以便進行有關暫態電流、磁通及轉矩的計算，在穩態分析上除由激磁電流產生電磁轉矩外，並有因 d-q 軸的磁阻差異產生磁阻轉矩。

3、穩態分析

凸極式同步機，其氣隙為非均勻氣隙，可分為直軸電抗與交軸電抗（圓筒型轉子其兩者相同）；其量測方式為以開路實驗與短路實驗獲得開回路及短路特性曲線



由開路時額定電壓所需要的激磁電流除以短路時額定電流所需要的激磁電流
 —簡稱 $S C R = I_f' / I_f''$

此時同步電抗 $= 1 / S C R$

一般火力電廠發電機短路比典型值小於 1，短路比大時發電機體積較大轉子
 轉動慣量大穩定性較佳。

4、暫態分析

同步發電機在突然加載，或發生短路時，均將呈現暫態響應，同步發電機的相
 關電流及轉軸角度均作劇烈的變化，由於阻尼繞組提供磁通鏈，而使同步機
 飽和，導致 d-q 軸的等效電抗減少，根據暫態時間長短可將電抗區分為 d-q 軸
 暫態等效電抗（7 ~ 8 週期）及 d-q 軸次暫態等效電抗（暫態發生後 1 個週期
 左右）

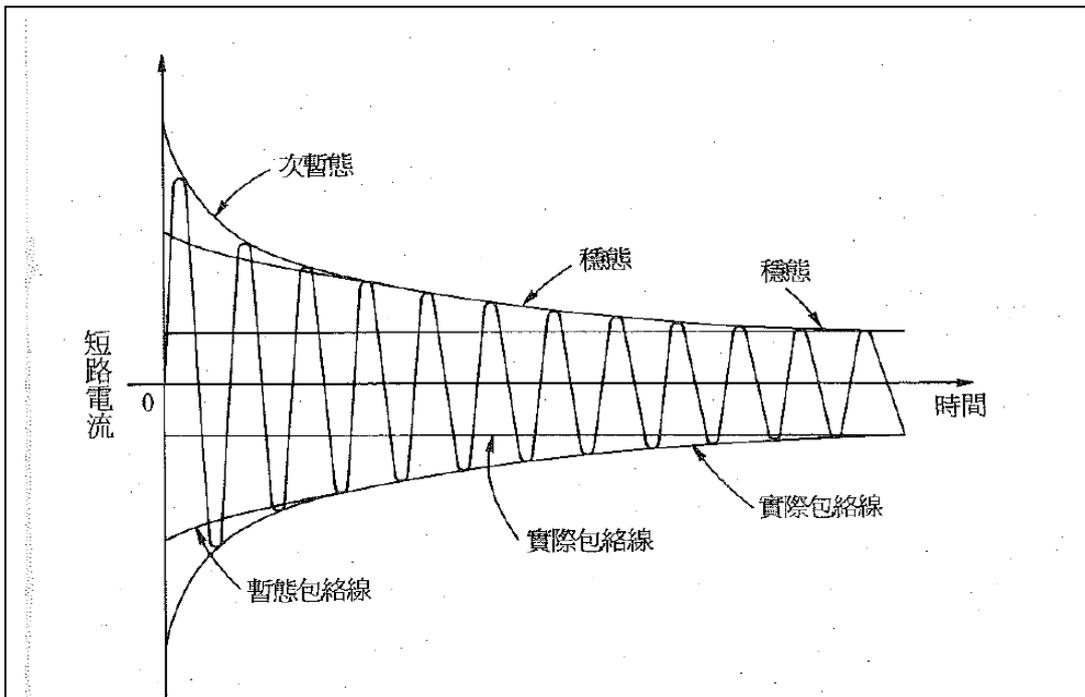


表 6.1 典型的同步發電機相關電抗標么值

參 數	圓筒型	凸極型
X_d	1.9	1.7
X'_d	0.25	0.3
X''_d	0.2	0.18
X_q	1.9	1.0
X'_q	0.5	1.0
X''_q	0.2	0.25

5、發電機設計標準

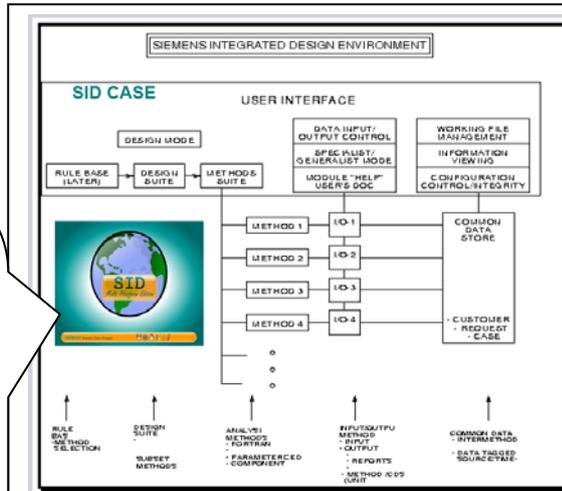
- 發電機設計標準：依據 IEEE-50.13 **Standard for Cylindrical-Rotor 50 Hz and 60 Hz Synchronous Generators Rated 10 MVA and Above**
- 發電機電壓及頻率:電壓 $\pm 5\%$ (95% ~ 105%)及頻率 $\pm 2\%$ (58.8 Hz ~ 61.2Hz)
- 轉子表面溫度:因負序電流及諧波電流會產生感應電流造成轉子溫度上升，因此依 IEEE-50.13 table 1 負序電流(I₂)限值設計轉子不平電流
- 轉子振動及臨界速度：自然共振(Lateral)頻率於+15 %及-10 % 以外。轉軸扭轉(Torsional Shaft Response) 頻率於 30Hz(+/- 2Hz) 、60Hz(+/- 3Hz) 及 120Hz (+/- 4Hz) 以外
- 相序、氫壓、氫氣純度等。
- 過載能力（包含定子與轉子過載能力）
- 短路機械強度設計。
- 發電機容量、電壓、溫度等詳 IEEE-50.13
- 西門子發電機設計人員分為:電氣設計、發電機械設計、絕緣設計。
- 設計工具：使用西門子公司所發展之軟體 S I G，依標準及使用材料特性，分別由多組人員同時執行最後得出製造施工圖及發電機特性及參數。
- 西門子 SID (Integrated Design Environment)簡介

原始程式為各別目的及各別用途程式，各個程式各自獨立。

各項程式執行需要各別手工輸入檔案及輸出檔案以為另一程式之輸入。

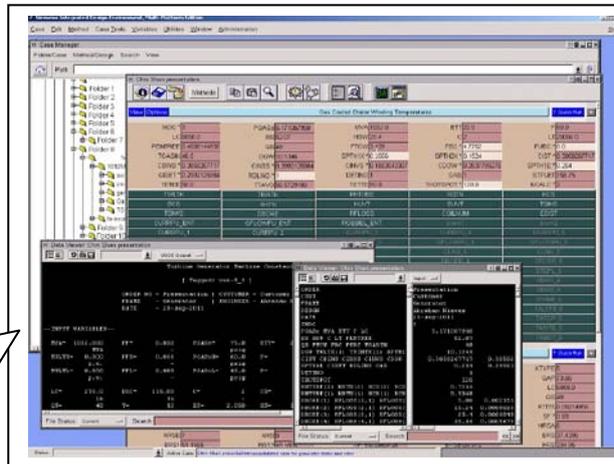
SID 整合各項程式為一設計環境，各項資源共享提供快速及便利輸出

西門子發電機電氣設計程式外觀，可自動產生各個專案之輸入檔案。所有發電機設計所需之共通性資料，如機內通容積、線圈材料、鐵心材料、散熱器材料等。均儲存在”共通資料儲存庫”各項專案所需可由共通性資料庫存取。



- SID is a computer program which integrates individual engineering programs/methods used for generator components design/analysis.
- The integration of methods (set of programs/methods) is called a CASE.
- Each CASE is uniquely created for a specific design/analysis task.
- SID automatically generates input files required to run individual computer programs/method. The output from computer programs/methods are stored in a COMMON DATA STORAGE location within each SID Case.
- Any program within a Case have access to any of the variable values in the COMMON DATA STORAGE.

此為西門子 SID 程式圖型化界面 (GUI) 各項程式計算以 DOS 程式為主程式

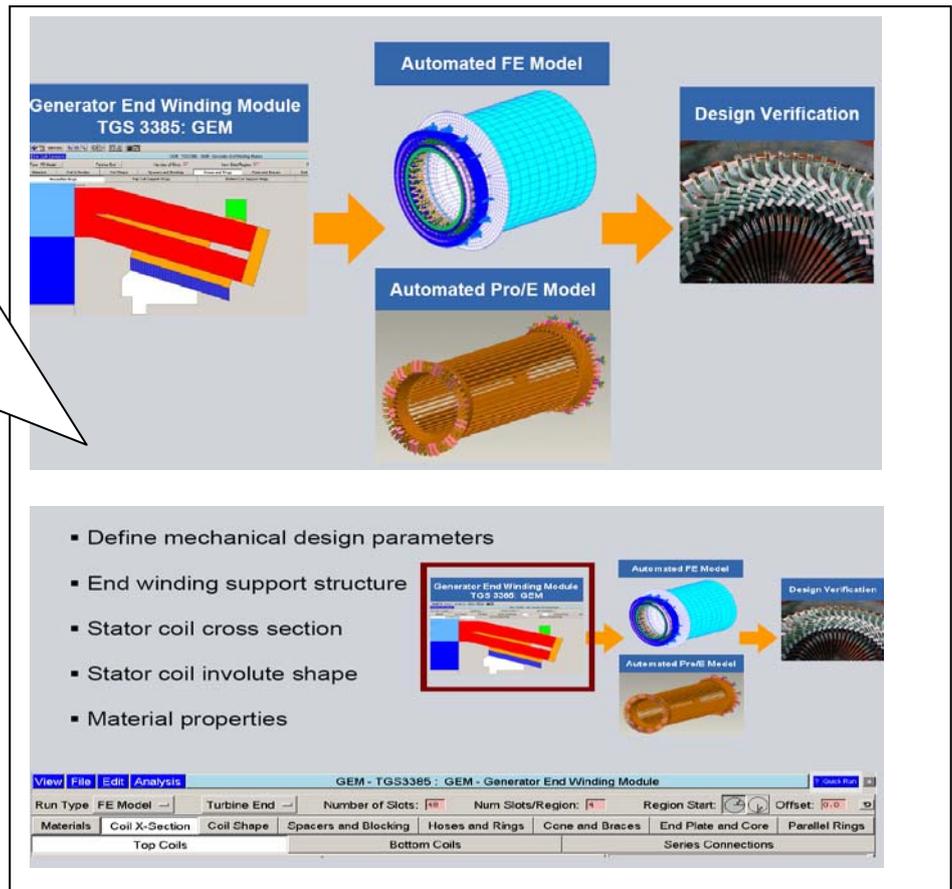


- SID Graphical User Interface (GUI)
 - Case Manager shows SID structure and selected case path.
 - A CASE is a set of methods for a specific task.
 - DATA VIEWER is a multi functional tool that allows for viewing CASE variable data values, input files, plots, etc.

發電機機械設程式 Automated FE Model & Automated Pro/E Model

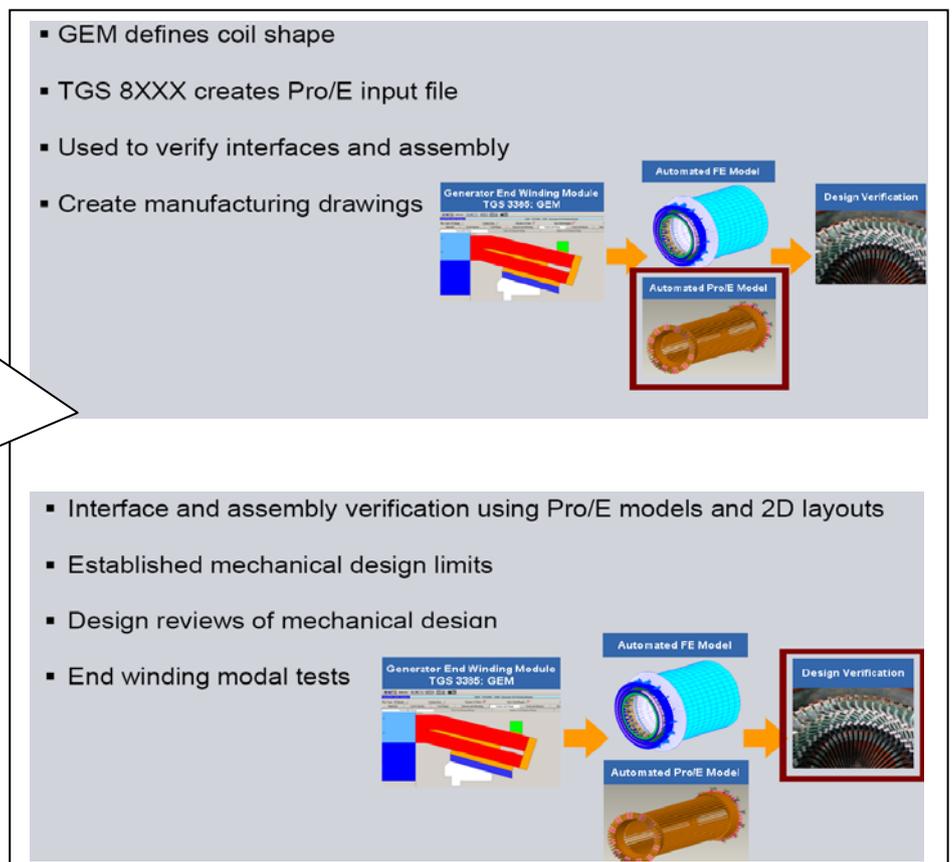
機械設計程式使用套裝軟體”Automated FE Model & Automated Pro/E Model”

可定義機械設計參數、末端支架結構、定子線圈截面圖型、線圈外型、材料之特性



由所定義之線圈末端外型，程式可自動產生 Pro/E 輸入檔案，此程式可檢驗各項界面及組合情形，並可產生施工製造圖面。

此程式輸入各模擬情境以模擬驗證設計機械強度。



6. 部份放電形成及防制

■ 部份放電的形成

部份放電之所以能夠形成，主要原因是在絕緣系統當中有局部氣隙或空洞(Void)形成，在一高電壓的絕緣系統當中，因絕緣材料的介電特性關係，會使得均勻分佈在絕緣系統當中的電壓集中到氣隙或空洞處，而造成氣隙或空洞處的電場強度過高，進而造成局部放電的現象。

理論上，當一線圈加上高電壓時，其絕緣內部所承受的電場強度為均勻分佈(E_i)，如圖一所示，當絕緣內部氣隙或空洞與電場呈垂直方向時，其電場強度為 $E_a = \epsilon_i E_i$ ，也就是氣隙或空洞內的電場強度為絕緣內部電場強度的 ϵ_i 倍(介電系數 ϵ_i 依絕緣材料不同，約 2-5 不等)，因此氣隙或空洞就會承受較高的電場強度，若外加電壓持續增高，最後就會在內部導致放電現象。氣隙或空洞的形狀不同，也會影響其內部的電場強度。

理論上，球狀之氣隙或空洞之電場強度 $E_b = (3 \epsilon_i / (1 + 2 \epsilon_i)) E_i$ ，與電場方向平行之氣隙或空洞電場強度 $E_c = E_i$

■ 局部放電產生的位置

實務上，高壓線圈的局部放電位置包括：

- (1)、內部空洞：在於主絕緣層內部
- (2)、V 型空洞：存在於主絕緣層與導線間
- (3)、槽部：存在於主絕緣層與鐵心間
- (4)、端部：存在於線圈出鐵心端

■ 局部放電的防制方法

(1)、電磁線的選用

一般使用者都會注意到電磁線使用何種材料包紮，但更重要的是電磁線的角度效應，也就是尖端放電，一般平面的電場強度是 $E = v/d$ ， v 是外加電壓， d 是絕緣厚度，而電磁線的角度電場強度是 $E = v / (r \ln(r+d)/r)$

\ln ：自然對數， r ：電磁線的角度半徑

由上式可知太小的角部半徑會產生較高的電場強度，容易有局部放電產生，但角部半徑太大，在製造上卻容易形成空洞，一般以電場強度不超過 3.5Kv/mm 為原則。

(2)、絕緣材料的選用

- * 樹脂(Bond Resin)成份最好在 35%以上
- * 揮發劑(Volatile content)不可超過 2%，用量太多，烘乾時容易產生空洞，用量太少，則材料柔軟性欠佳，包紮不易。
- * 在不影響固化的情況下，可選用較多 Mica 的材料，以增加其抗部份放電的能力。
- * 6.9kv 以上之電磁線，宜使用 Mica 取代 Glass。

(3)、製造上

- * 在製程中要避免空洞的產生，首要工作就是要計算好材料廠商所規定的壓縮因素(Compression Factor)，因絕緣材料的成份不同，會影響到製程中的壓縮因素，壓縮太輕容易產生空洞，壓縮太重則樹脂(Bond Resin)流失過多，固化情況不良，經運轉後，空洞會很快出現。

* 直部導電帶的使用

直部導電帶電阻太高會失去其使用的意義，若太低則會造成鐵心短路，一般使用範圍為 $2K\Omega-75 K\Omega/\square$ ，若槽內有使用 Filler 時，使用範圍為 $2.5K\Omega-20 K\Omega/\square$ 。

(4)、檢修時應注意事項

高壓線圈在檢修時往往會做一些補強的工作，可是要特別分清楚一點：是在做電氣的補強或機械的補強，在前面已經提過，絕緣內部氣隙或空洞的電場強度為 $E_a = \epsilon_i E_i$ ，因此在任何電位間加入絕緣體，只會昇高其間氣隙或空洞的電場強度，進而導致放電現象，除非你能保證你的補強工作不會留下任何氣隙或空洞，或者氣隙及空洞的大小，小於 0.15mm。

7. 發電機定子製造

- 依發電機設計資料要求製造特定形狀矽鋼片組成鐵心。
- 由薄矽鋼片組合而成鐵心，可減少渦電流造成之鐵心損（core loss）發電機定子線圈有水冷式及氫冷式；水冷式線圈冷卻水流入中空線圈帶走定子線圈因運轉電流所產生之熱量，氫冷式線圈，氫氣通過線圈中通風孔以帶走線圈熱量。定子線圈置入定子鐵心槽內，。發電機定子鐵心末端（stator core end）處設計一非磁性端板（finger plate）以降低雜散損（stray load loss）。
- 矽鋼片之裁切由西門子工廠特殊工具製作，必需無毛邊及不傷及表面板膜。
- 發電機鐵心矽鋼片由高導磁/非方向性矽鋼片(NGO)組成。
- 矽鋼片鐵損依規格不同分別為：
- M350-65A -----3.50 w/kg t:0.65mm
- M270-50A-----2.70 w/kg t:0.90mm
- 矽鋼片皮膜電阻:10k Ω /cm²
- 發電機組裝完成後矽鋼片以 ELCID 檢測

* 矽鋼片堆疊

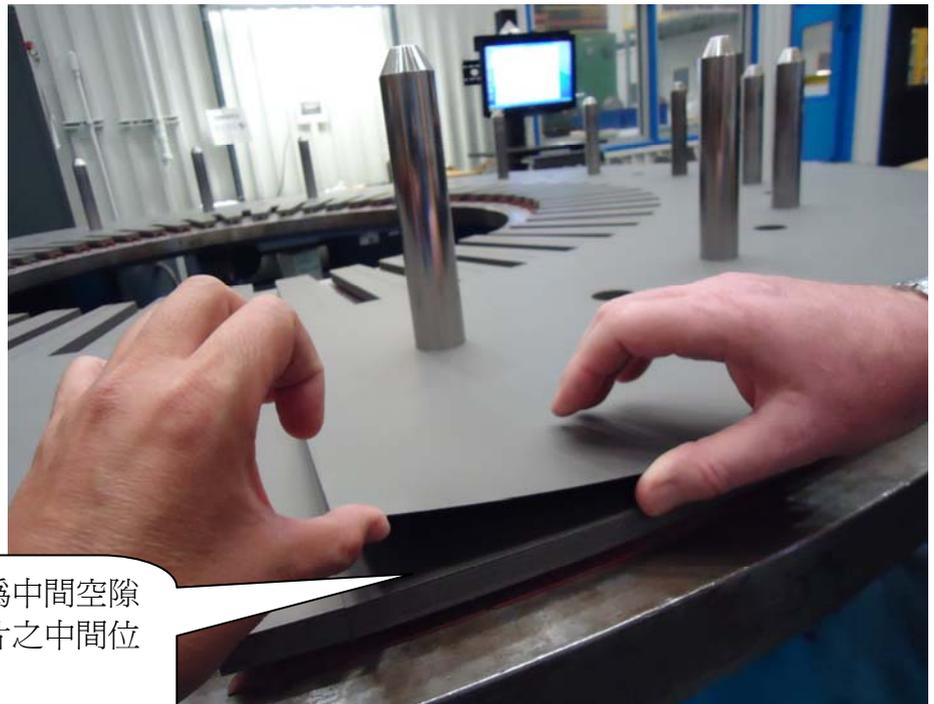
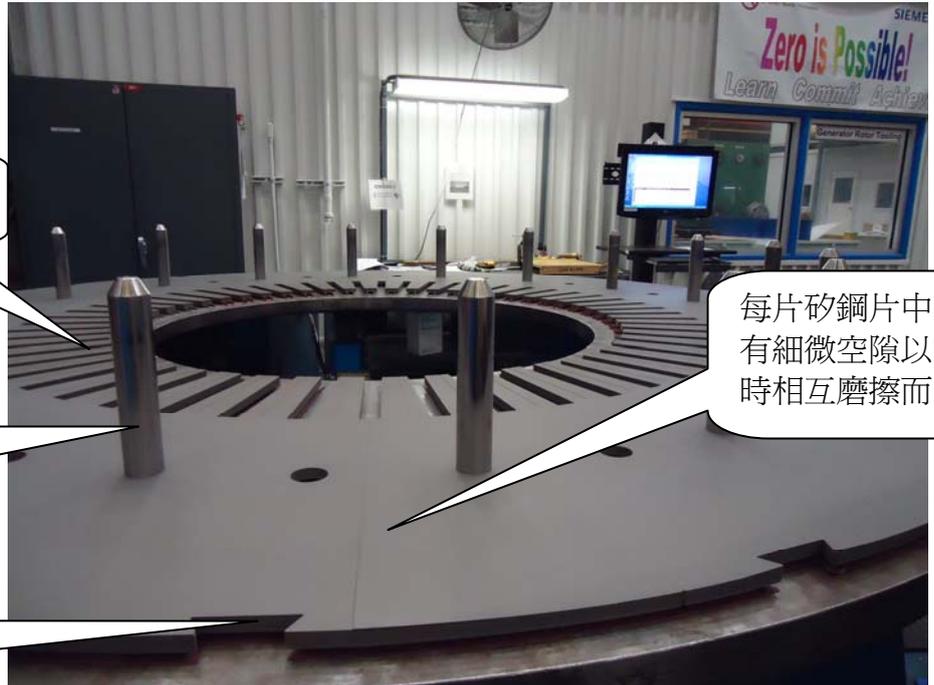
鐵心矽鋼片槽齒

貫穿螺柱所留之貫穿孔

建構螺柱配合位置

每片矽鋼片中間均留有細微空隙以防振動時相互磨擦而受損

矽鋼片堆疊方式為中間空隙置於上一片矽鋼片之中間位置



鐵心積疊後外形，每間隔一定高度鐵心，必需加入空隙以作為散熱通風使用

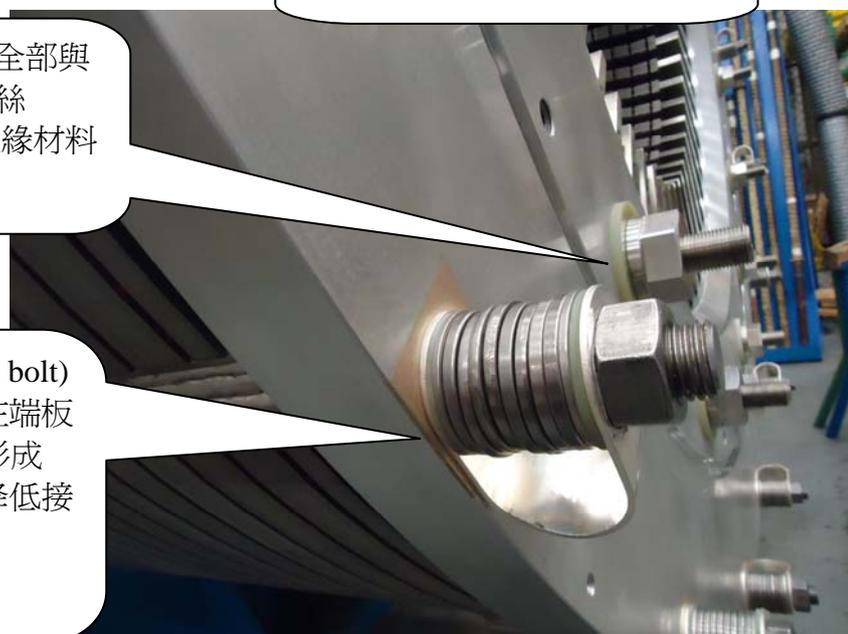


鐵心末端槽齒使用特殊齒型槽齒（finger plate）此為非磁性端板以降低雜散損失

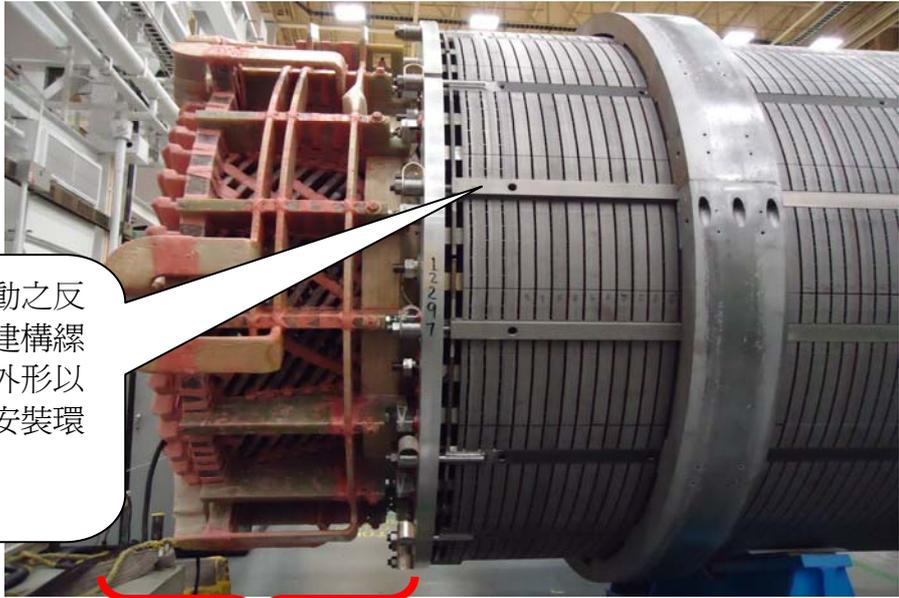


鐵心末端設計一緩降區（Step down）

貫穿螺柱必需全部與鐵心絕緣，螺絲 Washer 使用絕緣材料



建構螺柱(building bolt)需與鐵心導通，在端板處使用鍍銀處理形成良好導通狀況，降低接觸電阻。



為抵抗轉子轉動之反作用力，此處建構線柱設計為突出外形以配合鐵心外側安裝環



線圈末端相引線環連接情形

8. 發電機轉子製造

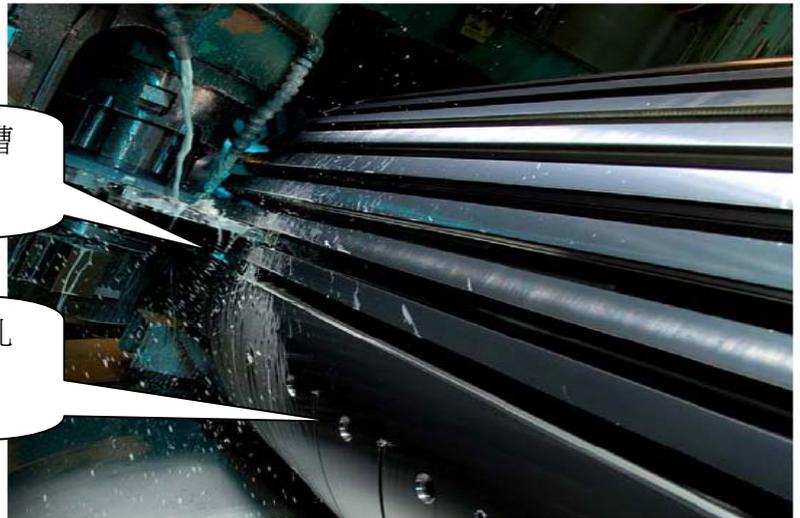
- 轉子轉軸材質是由 Ni-Mo-V 金屬材料整體鍛造而成，轉子線圈嵌入其內。轉子線圈在轉子兩側各由一材質為非磁性鋼 18Mn-18Cr 製成之扣環（ retaining ring ），防止轉子線圈因轉動造成變形



未繞線新轉子由特殊金屬整體鍛造而成

整體圓柱形轉子，依所需線槽尺寸以CNC車床加工

轉子極面位置留有平衡配重孔



Generator rotor slotting

9. 發電機轉子線圈製造步驟

- 1.轉子線圈為較大型之銅棒，大型發電機亦有分為上下兩U形銅導組一組，中間空洞可作為散熱通風使用。
- 2.依設計圖將銅棒直部於特定部位鑽孔作通風冷卻用。
- 3.大容量機組以機械彎曲或焊接轉部銅棒
- 4.線圈槽先置U型絕緣層再置入導體，導體與導間加入絕緣材料
- 5.轉子線圈繞製完成後需作動態平衡，將轉子置真空動態平衡室，將轉子加熱以模擬轉子有載狀態，並以動力機帶動至一定轉速，以電腦計算平衡位置與配重。

轉子繞上線圈後外型

線圈末端加入固定絕緣板



線圈末端通風導板，在導風板與轉子鐵心之間會加入 Ripple Spring 以加強固定力量



■ 轉子繞線 (4極式轉子為例)

P1:逆時針、由內往外

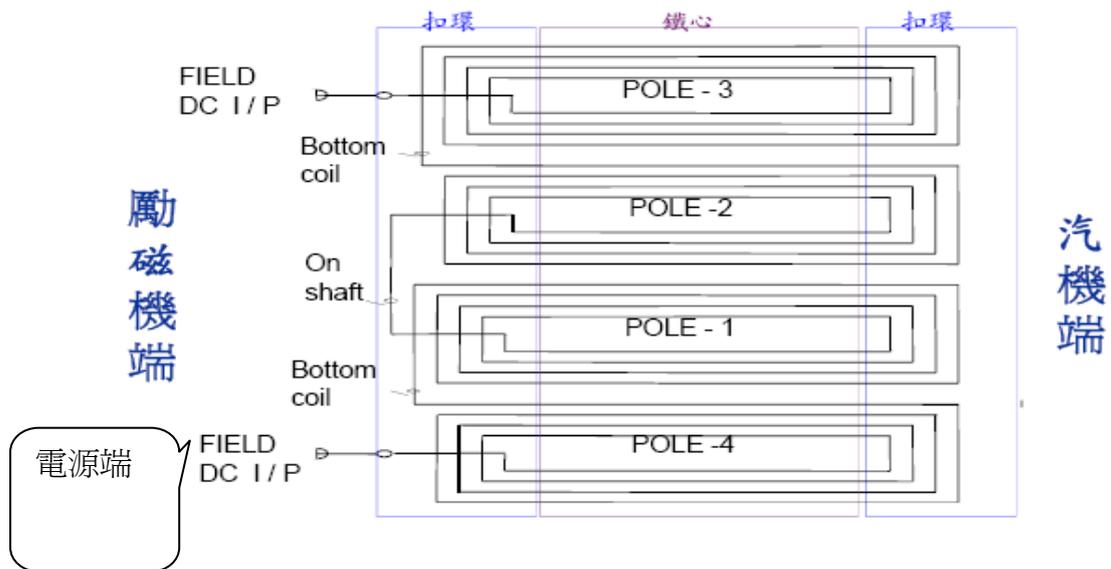
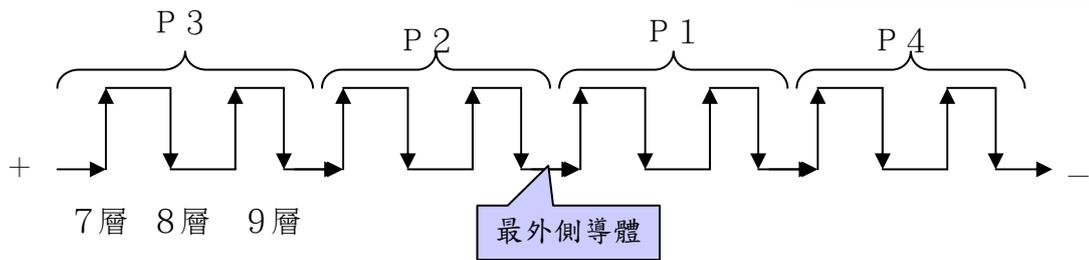
P2:順時針、由外往內

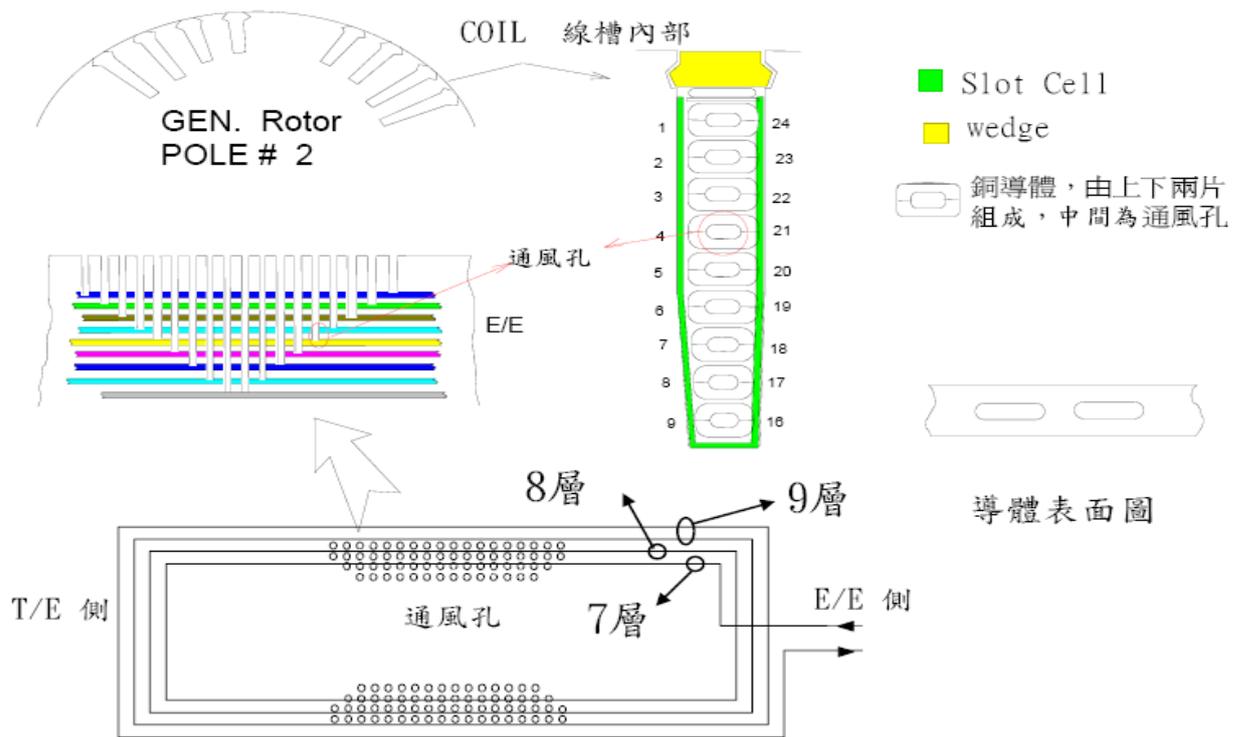
P3:逆時針、由內往外

P4:順時針、由外往內

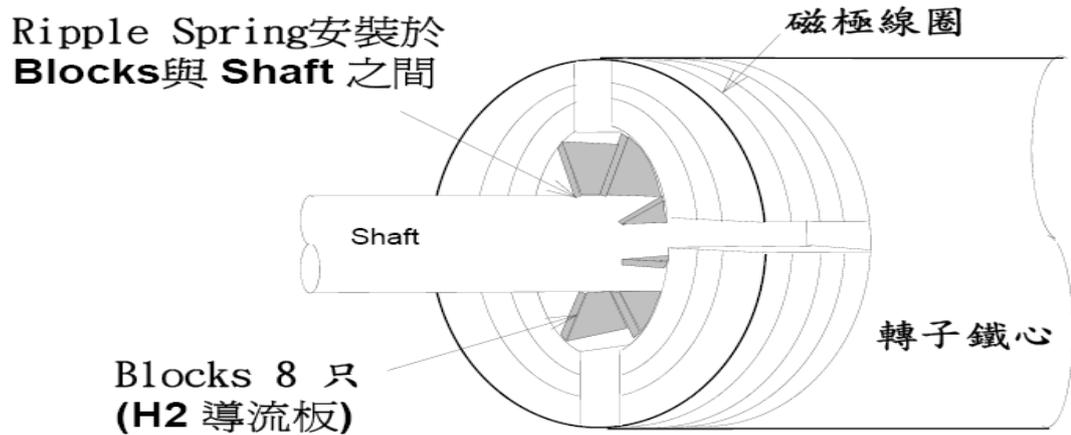


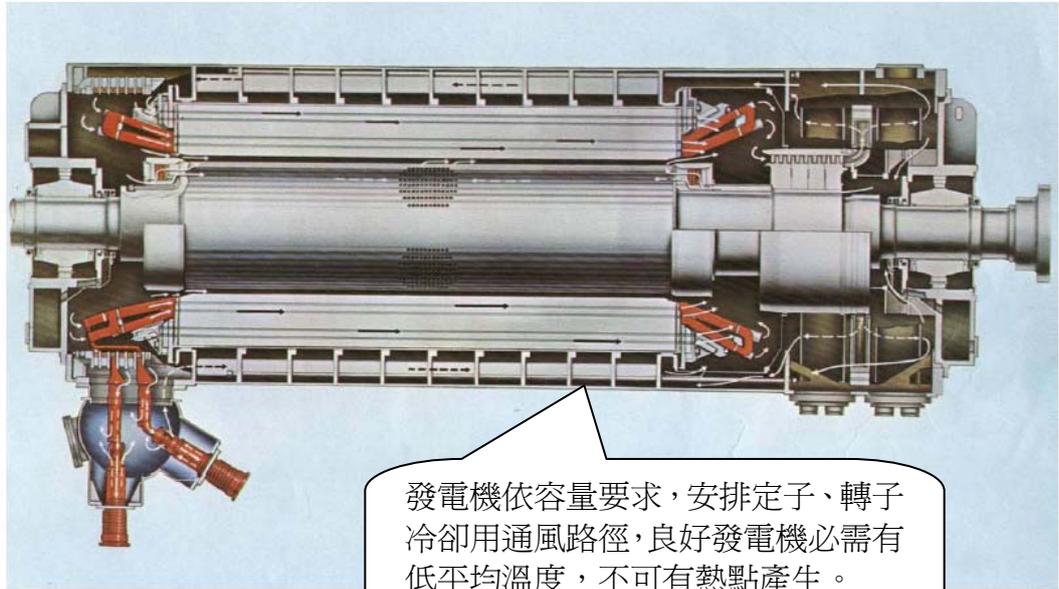
4極轉子,每極4組線圈





Ripple Spring 與導流 Block 安裝圖



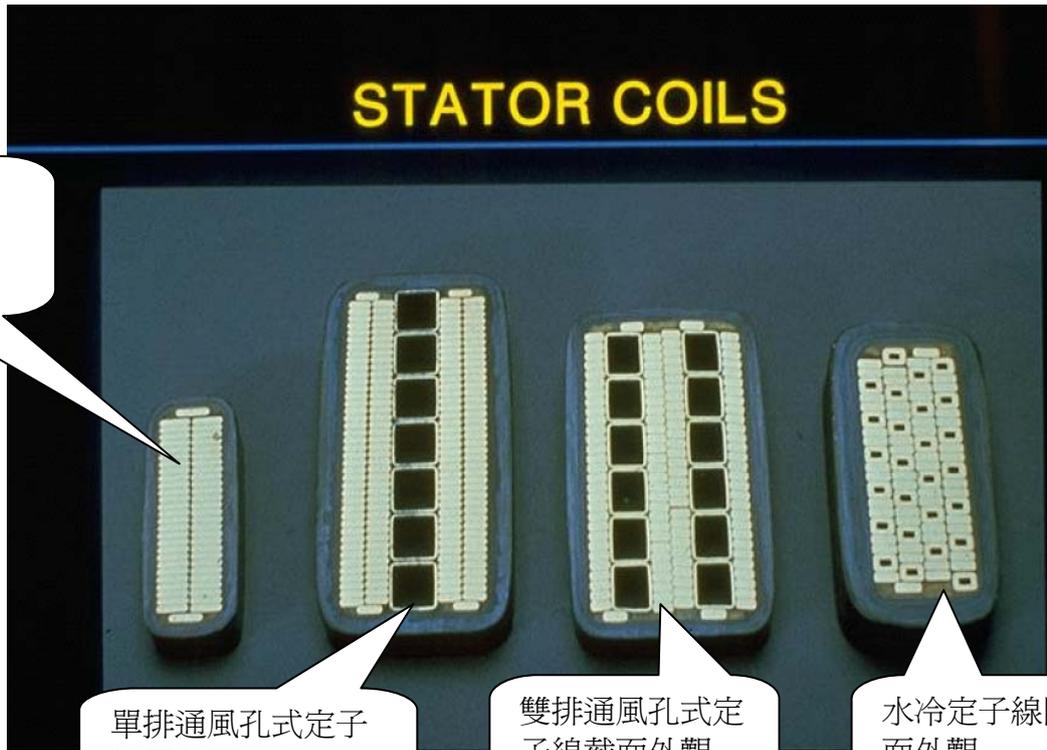


10. 發電機定子線圈製造步驟

1. 銅線(硬銅/經絕緣處理及附著特殊材料)由機器壓製形狀(羅貝爾轉位)，由人工依規格排列銅線及通風管後綁札固定。
2. 於通風管中加入 Teflon 防變形塊後，送入加熱塑形區，以熱油加熱彎曲成型。
3. 彎曲成型後，以測試工具測試通風管是否有變型塌陷，以電阻計量測每一銅線有否短路
4. 線圈端部以高週波銀焊機加以焊接固定。
5. 以自動包札機將整具線圈自動包札上絕緣帶。
6. 送入真空含浸(VPI)作絕緣處理。
7. 線圈真空含浸後送入最後壓製區作成型處理。
8. 試驗：
每一線圈實施 Hi-pot test、絕緣電阻試驗、pf 量測(<2%)、Short circuit test、AC breakdown test(取 2 樣本施作)

STATOR COILS

傳統型式定子線圈截面圖

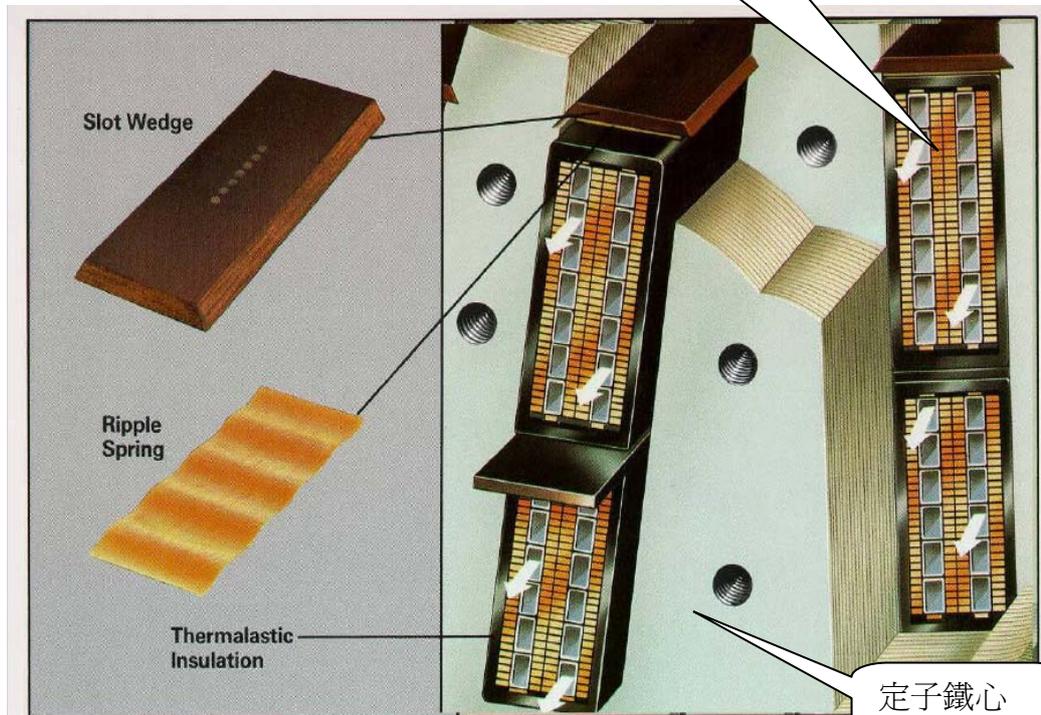


單排通風孔式定子線圈截面外觀

雙排通風孔式定子線圈截面外觀

水冷定子線圈截面外觀

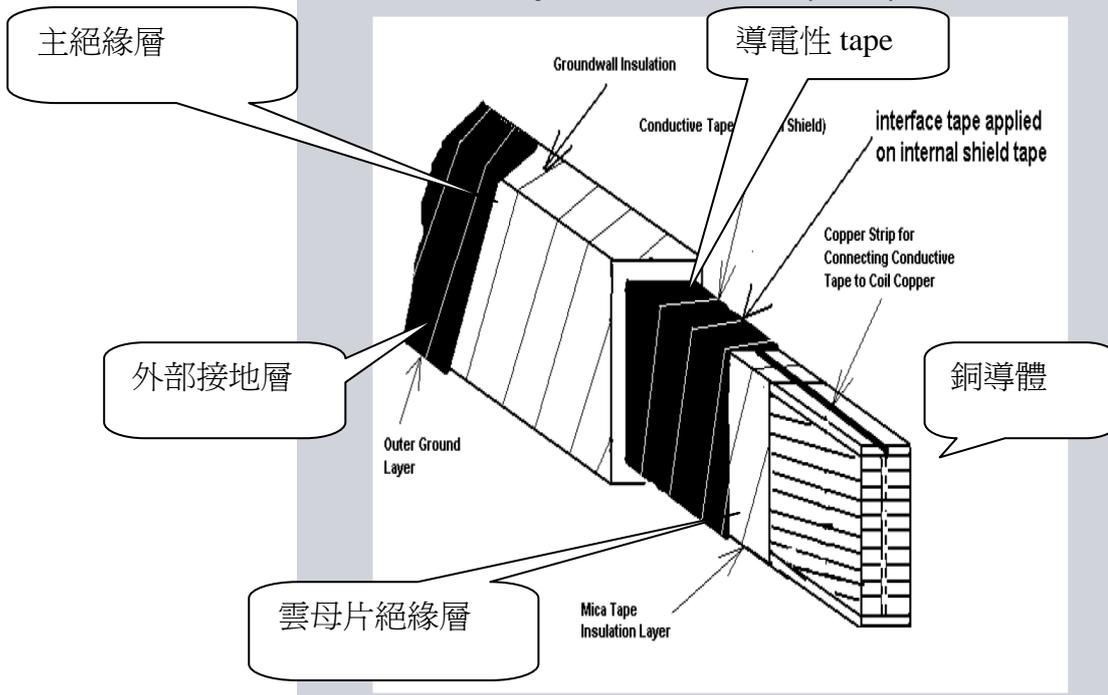
定子線圈



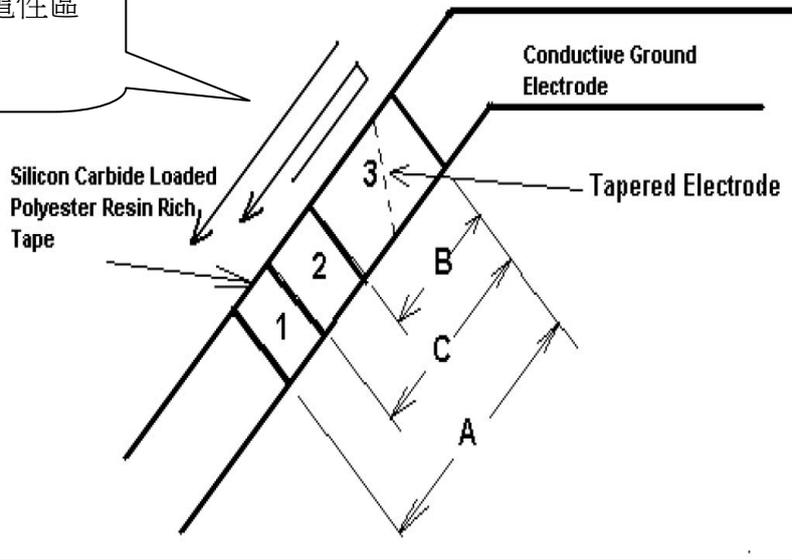
定子鐵心

Stator Winding — Hydrogen Inner-Cooled Generators

Hard Coil Internal Grading uses Conductive Shield Wrap/Cu Strip



線圈在轉部區半導體性區域 tape 繞製方法



11. 發電機維護

發電機定子與轉維護工作項目		
定子	定子線圈測試	<ul style="list-style-type: none"> ■ 發電機洩漏試驗 ■ 定子線圈絕緣測試。 <ul style="list-style-type: none"> Gen. RTDs 檢查及電阻值、絕緣電阻值核測。(包括 Megger Test & Hi Potential Test) 60 秒/30 秒 ≥ 1.25 10 分/1 分 ≥ 2 ■ PSDS(Pre-stress driving strip)Readings 核測。0.3 ~ 0.7 mm ■ 定子線圈三相電阻值核測。 ■ Stator Coil Transposition Test(新型線圈無需此試驗)。 ■ Stator Coil End Turn Bump (Impact) Test 。所得自然頻率應避開 60HZ&120HZ 以免與電源頻率產生共振。 ■ Stator Wedges 使用 Test Hammer 敲擊檢驗
	發電機定子鐵心檢測	<ul style="list-style-type: none"> ■ 目視 (V.T) 檢查定子鐵心矽鋼片表面是否有短路的現象。 ■ 使用 ELCID 儀器檢測。(Core Imperfection Detector)，CID 僅需加入微小的激磁電流，磁通密度約滿載運轉的 4% ，若鐵心因劣化受損，造成短路，則跨接在槽齒兩側的偵測磁頭，即可測出故障電流的大小。(每故障電流 100mA ，造成溫升約 5°C)。 ■ Through Bolts & Building Bolts (Core Bolts) 檢查有無鬆弛。 ■ Through Bolts 絕緣電阻值核測

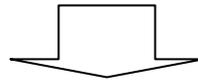
		<ul style="list-style-type: none"> ■ Through bolts & Building bolts (core bolts)目視檢查其鬆動，並使用 1000V Megger 試驗 Through bolts 36 支的絕緣電阻值，試驗結果數值判定標準，如下： 100MΩ 以上為正常。10~ 100MΩ 潮濕或不乾淨，應準備檢查。1~ 10MΩ 甚髒，有機會應即檢查，皆可留待下次檢查。1MΩ 以下應立即檢查。 	
轉子	轉子測試與檢驗	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gen. Rotor Winding Pole Balance Test。 ■ Gen. Rotor Shaft Center Bore Leakage Test。 ■ 轉子線圈電阻值及阻抗值及絕緣電阻值核測。 ■ 轉子通風試驗。 ■ 轉子風扇動葉片做 M.T. (磁粉探傷檢驗)。 ■ 風扇靜葉片做風扇靜葉片做 V.T (目視)。 ■ 轉子 Retaining Rings、Center Wedges、End Wedges 做非破壞檢驗 (包括：P.T.、U.T.、V.T.)。 ■ Rotor Tooth Tops 做 Eddy Current Examination。 ■ 轉子 Axial Lead、Radial Lead 檢查。 	

12. 發電機定子重繞

發電機所使用之絕緣材料經運轉一段時間後會自然老化必需加以重繞，以使絕緣系統恢復原有強度，發電機重繞可簡化為以步驟。

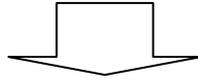
- (1).材料及工作場所整備
- (2)原有發電機定子線圈移除
- (3)發電機框架整修
- (4)發電機鐵心整修
- (5)線圈端部圓錐體及平行線圈環安裝
- (6)新線圈安裝
- (7)線圈主引線安裝
- (8)線圈端部焊接
- (9)端部線圈綁札
- (10)線圈槽楔安裝
- (11)儀控及線路端板安裝

(2)原有發電機定子線圈移除

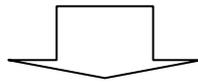


原有發電機定子線圈移除





(3)發電機框架整修



(4)發電機鐵心整修





發電機鐵心整修

- Step iron is replaced on each end of the core.
- Some amount of body iron is also replaced on each end of the core, depending on existing core conditions.



- Step iron at each end of the core is exposed to the highest flux concentrations and temperatures.
- Old step iron can also be physically deformed and “mashed” at the bottom of the slot due to “slot pounding” from the old stator coil.
- Some inches of body iron are added in to restore core length to the original drawing values.



- If applicable, Nitronic through bolts can be installed without lifting the stator from its foundation.
- Nitronic hardware provides higher elasticity and bolt stretch maintains core compaction longer than conventional through bolts.



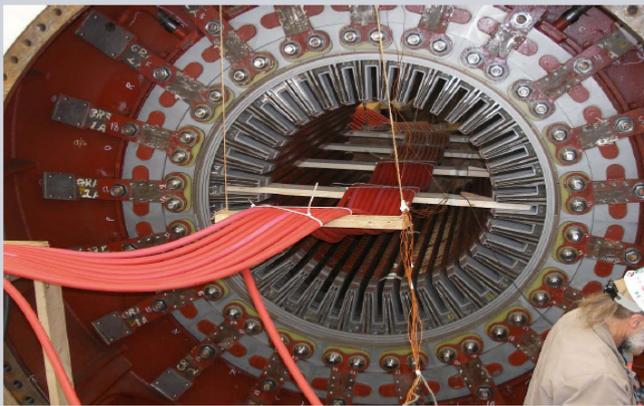
- Finger plates are re-used.
- End shields are hand stacked.

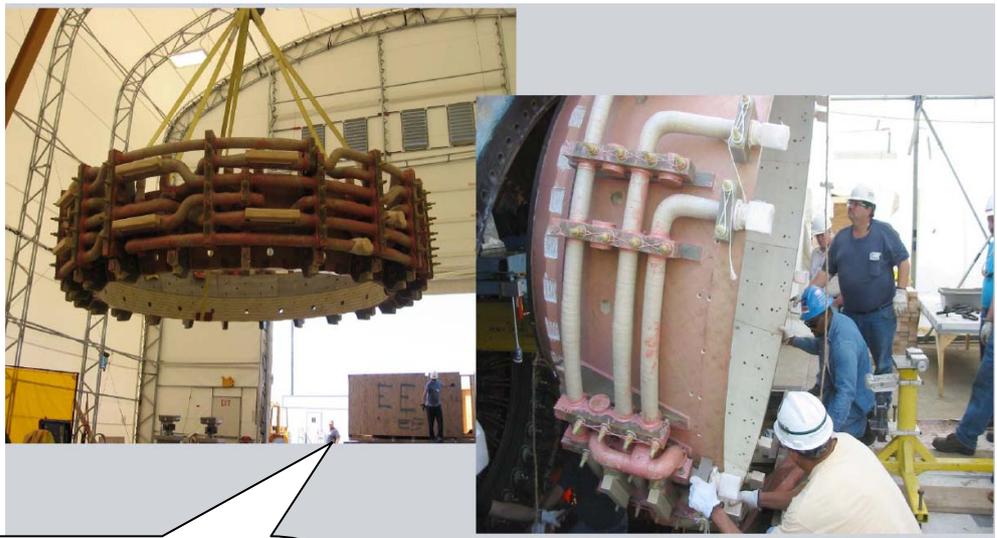
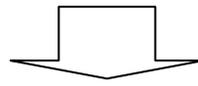




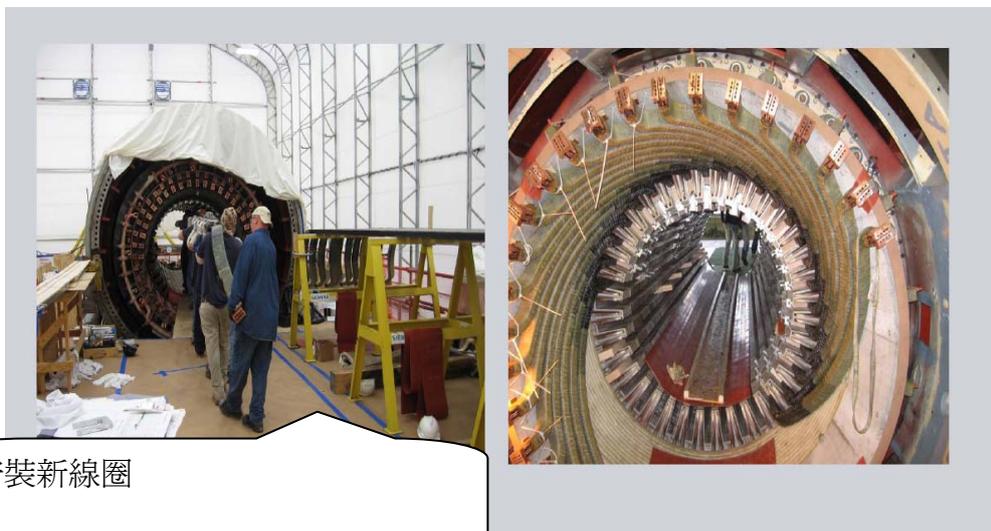
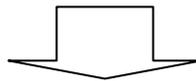
鐵心整修完成進行全鐵心迴圈磁通試驗(Full Core Loop Test)以檢測鐵是否有短路點.

- Loop cable is run through the bore and around the outside of the generator frame.

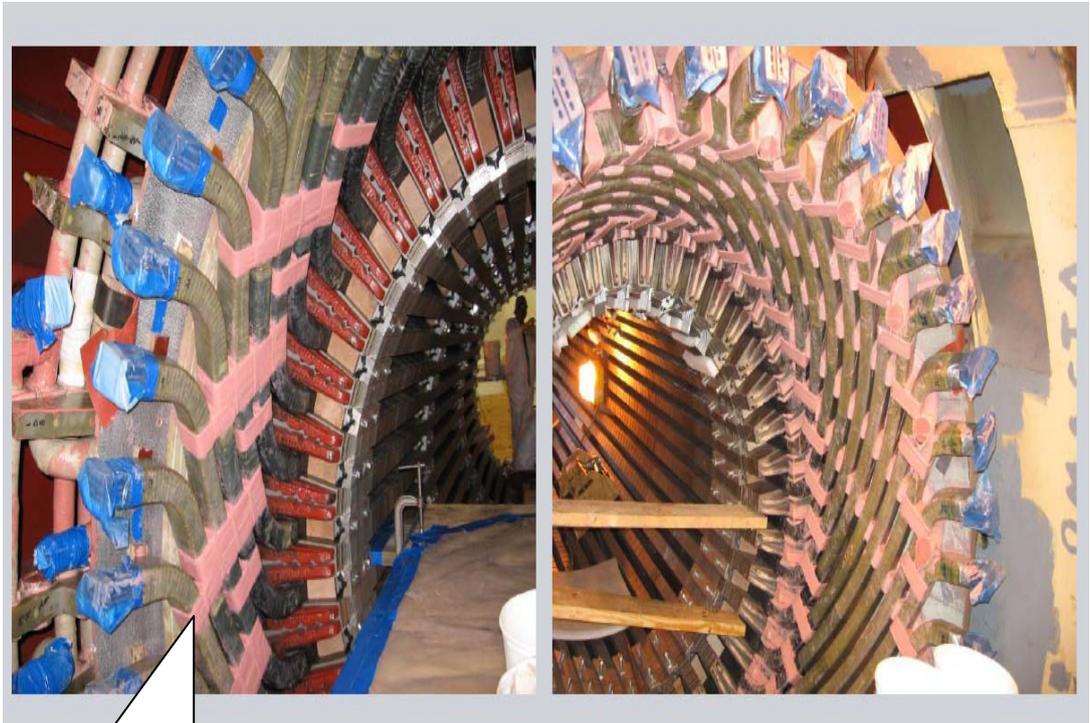
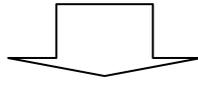




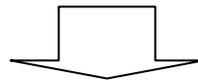
線圈端部圓錐體及平行線
圈環安裝



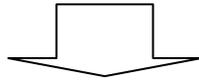
安裝新線圈



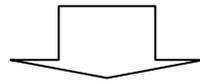
新線圈安裝後進行綁扎及固定



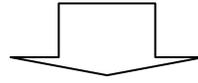
線圈終端進行焊接工作



線圈槽楔安裝



發電機內部監測元作線路安裝



塗上絕緣漆後完成整體重繞工作

參：心得

本次赴美國西門子公司研習核能電廠發電機老化更新技術，在美國期間獨自一人應付各式各樣環境及不同語言文化，可以開闊視野增廣見聞，體驗不同國度裡相同從業人員的工作態度、工作環境、工作制度，是令人感覺愉悅的，惟一感到不便則是近年美國因9 1 1事件，各地機場安檢非常嚴格，因此機場往往人滿為患，但在現場並未耳聞有何抱怨，一般美國人均遵守相關規定一一進行安檢。

在美國期間特別感謝美國西門子公司人員說明與接待 此次遠渡重洋，去學習一全新的學習領域，始終有著另一股惶恐的心情，深恐實習成果不如預期，深恐有負長官及公司期許，故總是敬敬業業的學習，並儘可能的收集相關參考資料，整理後努力的加以研讀，但因美國西門子公司公司保密政策，僅提供公司簡介，在工廠參訪亦不得攝影照相，若對相關專業無一定基礎則在參訪過後可能無法有所助益。因此有計劃出

國研習人員應在出國有相當準備與閱讀相關資料，如此在與參訪對象訪談時方能有所收獲。

肆：結論與建議

- 一. 發電機定子鐵心矽鋼片與變壓器所使用矽鋼片不同，發電機定子矽鋼片為避免磁飽和必需詳細考量槽齒設計。發電機鐵心在積疊後在鐵心背部與發電機框架直接接觸接地，故積疊過程中無接地檢查項目但需避第二點接地，在積疊完成後以 ELCID 檢查渦電流大小，尤其在發電機末端鐵心部份因漏磁通及進相運轉之加磁作用，常處在較高溫度下運轉鐵心皮膜較易受損，需要作鐵心渦電流檢測以檢查有無短路，在定子線圈重繞時可考慮末端鐵心加以更換。
- 二. 新設計發電機定子線圈在製造中期即有轉位設計，線圈組合完成後在終端以銅板全部短路，如此設計可以加快線圈與線圈之連接，亦可提高線圈鋼性，減輕振動影響。惟需注意此型線圈端點面積較大焊接工作困難度較高，焊接工作需原廠認可專業人員進行此項工作以確保焊接品質。
- 三. 若發電機進行重繞工程，需注意原有定子線圈拆卸過程，不可損傷定子鐵心，線圈拆卸完成鐵心必需進行全鐵心回路試驗（Full core loop test）以了解是否有矽鋼片短路而產生熱點，試驗時所加入磁通量以設備說明書額定磁通量為參考，應注意勿使鐵心過飽和。
- 四. 發電機進行重繞工程中，廠家所使用之材料均經過設計，故應注意現場工作人員有否按施工圖面施工，若未經設計人員模擬計算認可之任何臨時變更，均會影響發電機之電氣與機械特性，此外更應留意現場環境控制，若可行可搭棚架以阻絕外界灰塵與濕氣，可以提高重繞工作品質。