

出國報告（出國類別：開會）

參加第 8 屆 IERE 常會及論文發表

服務機關：台灣電力公司 新桃供電區營運處

姓名職稱：陳來進 新竹區域調度中心主任

派赴國家：巴西

出國期間：97 年 11 月 16 日至 97 年 11 月 24 日

報告日期：97 年 12 月 15 日

出國報告審核表

出國報告名稱：參加第 8 屆 IERE 常會及論文發表

出國人姓名 (2 人以上，以 1 人為代表)	職稱	服務單位
陳來進	區域調度中心主任	新桃供電區營運處
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>國際會議</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	

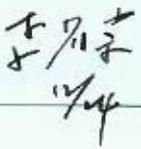
出國期間：97 年 11 月 16 日 至 97 年 11 月 24 日

報告繳交日期：97 年 12 月 15 日

出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2. 格式完整 (本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3. 無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4. 內容充實完備。 <input checked="" type="checkbox"/> 5. 建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 6. 送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8. 退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input checked="" type="checkbox"/> 9. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input checked="" type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會 (說明會)，與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他 _____ <input type="checkbox"/> 10. 其他處理意見及方式：
--------------	--

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報告人		審核人	單位主管	 	主管處 主管 	總經理 副總經理 
-----	---	-----	------	--	--	--

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加第 8 屆 IERE 常會及論文發表

頁數 28 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/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

陳來進/台灣電力公司/新桃供電區營運處/區域調度中心主任/03-6667925

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他：開會

出國期間：97 年 11 月 16 日至 11 月 24 日

出國地區：巴西

報告日期：97 年 12 月 15 日

分類號/目：

關鍵詞：國際電力研究交流會議(IERE)、巴西中央電能研究中心(CEPEL)、伊太普水力發電廠(Itaipu Hydroelectric Power Plant)、超高壓直流(HVDC)、伊瓜蘇換流站(Foz do Iguaçu Converter Station)、線路損失(Line Loss)

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、簡述世界各主要電力公司、電力研究機構於「第 8 屆國際電力研究交流會議(IERE)」上報告近年來之電力研究發展方向、長距離輸電技術、電力網路之控制與電力電子，及水力發電技術。包括 500kV 交流及 600kV HVDC 之架構、特高壓架空輸電線路之配置、巴西電力網路遇重大機電事故時之卸載與跳脫發電機之規劃等，以作為台電公司未來系統規劃、輸電線路設計、變電所及輸電系統運轉、維護之參考。
- 二、介紹巴西伊太普(Itaipu)水力發電廠、伊瓜蘇換流站(Foz do Iguaçu Converter Station)之交流與超高壓直流(HVDC)輸電架構及伊瓜蘇配電變電所概況(Subestação Foz do Iguaçu)，以作為台電屋外變電所管理與維護之比較參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

參加第 8 屆 IERE 常會及論文發表

目錄

壹、感想與建議	1
貳、出國緣由	3
參、出國行程	3
肆、參加 IERE 常會紀要	4
一、拉丁美洲電力發展永續經營方向	4
二、研發技術與策略	5
三、長距離輸電技術	6
四、控制系統與電力電子技術	9
五、水力發電技術	11
伍、參觀發電廠與換流站心得	12
一、參觀伊太普(Itaipu)水力發電廠	12
二、參觀伊瓜蘇換流站(Foz do Iguçu Converter Station)	14
三、伊瓜蘇配電變電所概要 (Subestação Foz do Iguçu)	18

壹、感想與建議

一. 出國參訪實習可適度考慮包括南美洲與南非等開發中國家：

台電公司選派出國參訪實習，多半以歐美日等較先進已開發國家為對象，對南美洲巴西、阿根廷及中歐伊朗等國家之電力發展少有經驗與了解。本次第八屆國際電力研究交流會議(IERE International Electrical Research Exchange)在巴西舉行，雖然巴西之配電變電所等基礎建設較台電老舊，但是其電力系統龐大，諸如伊太普(Itaipu)大容量水力發電廠、高壓直流(HVDC)換流站等電力建設並非其本國產製，已經有超過 20 年以上之運轉經驗，其運轉維護技術引進之經驗十分值得即將引進台電借鏡。建議未來出國實習計畫選定參訪對象，除先進之歐美日國家之外，可適度考慮包括南美洲與南非等開發中國家，汲取尚未建有邦誼之國家在發展過程中的經驗。

二. 將高壓直流輸電設備之運轉維護納入出國實習計畫範圍：

台灣電力系統雖然尚未採用高壓直流輸電設備，但是由於都會區輸電線路陸續採用地下電纜，使得冬季無效功率過剩與夏季無效功率不足問題日趨嚴重，基於電力系統之有效功率、無效功率潮流控制上的需要，即將採用靜態同步補償器(STATCOM)。國外高壓直流輸電設備之運轉維護歷史較久，與靜態同步補償器結構相似，豐富之運轉維護經驗可供台電同仁參考。鑒於國外採用靜態同步補償器之數量不多，歷史不算長，因此未來出國實習計畫除了靜態同步補償器之運轉維護外，可將高壓直流輸電設備之運轉維護納入出國實習計畫範圍。

三. 公司需要繼續有制度培養電力事業經營人才：

本次會議中與會各國專家提及，以往之電力人才培訓著重在電力「工程」人才，但是因應能源危機及經濟風暴等，電力事業之永續經營需要全方位人才，因此日後培養人才之重點除了工程之外，將包括需求、供應、能源之採購、使用與轉換等各方面之能源系統人才(Master of business in energy system)之培育。巴西電力公司

主管更指出，該公司將來之經理人將以 3 年至 10 年之實務培訓經驗為目標，以免人才老化。

四. 延續新型感測器之試辦運用：

本次會議中由美國電力研究院 EPRI 所發表之各種新式感測器之運用，其中諸如絕緣碍子之洩漏電流檢出感測器等，台電綜合研究所先前已有類似研究運用於輸電鐵塔絕緣碍子之洩漏電流監測，建議台電綜合研究所延續先前之研究成果繼續發展相關研究。

供電處目前有參與 EPRI 之 P166 研究計畫，建議可申請運用該計畫之回饋金，請 EPRI 將移動式之天線陣列診斷設備帶到台電屋外式變電所進行示範診斷，或者提供其他感測器之示範性安裝。

貳、出國緣由

IERE(International Electrical Research Exchange)為國際性組織，旨在促進全球電力產業技術經驗交流。本公司自90年起加入會員，96年起升為高級會員。本屆IERE常會由巴西CEPEL電力公司主辦，本公司接獲通知受採納兩篇論文參與發表研討，作者分別為周元生、陳來進、羅明哲、孫政啓、盧璟照等5人。

限於出國計畫預算，本次僅由陳來進代表上述五人於IERE會中報告該兩篇論文(台澎海纜電力損失與調整 Regulation and Losses of Taiwan-PengHu Submarine Cable 以及台電改善輸電損失之研究 The Study on Improvement of the Power Transmission Loss for TPC Power System)以適度宣傳本公司之努力成效，並汲取其他與會專家技術經驗。

參、出國行程

本出國計畫自97年11月16日至97年11月24日，合計為9天，詳細行程如下表。

表一 參加第8屆IERE常會出國行程表

日期	天數	起訖地點	活動內容
11月16日 ~11月17日	2	臺北~香港~約翰尼斯堡~聖保羅~福斯多伊瓜蘇	往程
11月18日 ~11月20日	3	福斯多伊瓜蘇	參加IERE常會
11月21日	1	福斯多伊瓜蘇	參訪伊太普(Itaipu)水力發電廠 與伊瓜蘇(Foz do Iguaçu Converter Station)換流站
11月22日 ~11月24日	3	福斯多伊瓜蘇~聖保羅~約翰 尼斯堡~香港~臺北	返程

肆、參加 IERE 常會紀要

一、拉丁美洲電力發展永續經營方向

本次會議中邀請巴西礦藏與能源部副部長 Marcio P. Zimmermann 在會中演說著眼於永續經營之能源擴充策略，演說中描述巴西能源主要發展方向在於以酒精作為石油之替代能源，以及開發巴西西北部及亞馬遜河流域仍蘊藏十分豐富之水力發電。於演說後之交流問答中，與會其他國家代表亦對此有所評論，認為開發蔗糖種植等生產生化酒精，在 CO₂ 的排放及環境污染方面，並不見得比使用石化燃料好。然而 Zimmermann 副部長以及後續兩日在會中與會之巴西其他電力公司主管回應均表示，巴西人口 1 億 3 千 8 百萬人，國民生產毛額 GDP 僅 4301 美元，距離開發國家尚遠，且拉丁美洲國家人口約佔世界人口 8%，但其排放 CO₂ 之量僅佔世界總排放量之 5%；相較於美國人口約佔世界人口 4.5%，但其排放 CO₂ 之量卻高達世界總排放量之 34%，CO₂ 排放的改善重點應該在美國等已開發國家，而對拉丁美洲國家而言，提升人民的經濟才是他們迫切要處理的問題。此外巴西與會人員非正式表示，巴西並無蘊藏石油，為了減少對進口能源之依賴，必須發展酒精等生化燃料做為替代能源，生產過程中所產生的沼氣、甘蔗廢渣等亦均可做為燃料，若對甘蔗種植所需肥料與土地酸化等善加輔導管制，對環境污染衝擊當不至於太大。

有關巴西水力發電之發展，目前主要困難在於全球經濟危機之後，向國際銀行貸款較為困難。在地全取得與化解民眾抗爭方面，由於巴西尚未開發的主要水力資源在該國人煙稀少的西北部，興建電廠之後仍需興建數千公里長的輸電線路，而其原住民等受到已開發國家之薰陶，紛紛出現經過地方民代發表反對意見，不希望破壞山林現貌，形成輸電線路規畫上之主要阻力。因此在整體電力發展上，處理抗爭與環境評估需要投注比一二十年前更大的努力。在巴西，一般而言水力發電計畫開始動工前，需要約 5 年之調查、環境評估與核准程序。

與會之阿根廷顧問公司專家亦表示，目前全世界所蘊藏之有開發價值水力發電，尚

有已開發量之 2 倍，其中大部分蘊藏於拉丁美洲。以阿根廷而言，近兩年也因為化解民眾抗爭方面未能突破，而使得石化原料進口比例大量增加，對 CO2 排放及社會衝擊與經濟發展產生不良影響。

二、研發技術與策略

本組會議由美國電力研究院(EPRI)、伊朗國家研究院、東京電力公司、荷蘭 Delft 大學等與會代表報告各國未來主要研究方向，大多數仍在 CO2 減量方面。伊朗所報告之研究發展項目，首要在降低電力損失，與會其他國家代表交流請伊朗電網之損失率為多少，伊朗國家研究院與會之研究所副所長 Farrakh Amini 表示由於戰爭受損等因素，近年努力重點在於滿足用電需求，尚未顧及電力損失，目前尚無精確數字，初步估計當在 20%以上，其中輸電系統 14%，配電系統 6%，相較於台電在會中報告的 4.75%高出很多。會後 Amini 君表示有意進一步了解台電降低線路損失做法，作者代表台電表達歡迎交流之意，請伊朗如有必要亦可透過經濟部等官方提出正式交流，促進兩國友誼。

各國主要研究發展重點方向以減少 CO2 之排放居多，其主要研究項目荷蘭偏重在再生能源特別是離岸風力發電。EPRI 則估計未來美國負載成長將達每年約+1.05%，發電廠之機組效率將由現今之 40%，2020 年提升至 46%，2030 年提升至 49%。強調能源方案沒有特效藥(silver bullet)，各種方案都要加以考量。東京電力公司則將致力研發高效能熱泵浦。

日本中央電力研究院報告有關 1100kV 輸電鐵塔雷害之研究，在輸電鐵塔頂部安裝 Rogowski coil 偵測雷擊電流。在統計數據上，輸電線路之雷害有 43%是上層輸電線受到雷擊，34%是中層輸電線受到雷擊，23%是下層輸電線受到雷擊。雷擊突波對氣封絕緣開關設備 GIS 之影響方面，波前越長(越不陡峭)者，電壓峰值越低；然而雷擊突波對電力變壓器之影響方面，波前之陡峭與否卻不影響電壓峰值。雷擊電流越大者，其波前持續時間越長。依其 1994 年至 2004 年 11 年期間觀測統計結果，雷擊電流平均值為 23.9kA 最高值則為 130.2kA。本公司輸電線路尚未採用 1100kV 或 765kV 系統，該等研究可供未

來規畫參考。

三、長距離輸電技術

本組主要討論除了超高壓直流 HVDC 輸電技術之外，亦有阿根廷與會專家報告該國電業自由化過程所面臨問題。阿根廷電力公司原本均屬州政府所有，在 1992 年開始民營化，自由競爭之結果得到包括發輸配電效率提升及電價降低等優點，但是缺點是系統容量擴充不足。尤其在 2002 年阿根廷經濟危機之後，該國電業投資成爲無法獲利，幾乎所有電業均不願意擴建機組及輸變電設備，因而需要政府強力介入處理系統容量擴充問題。該國 500kV 輸電系統主要負載集中在大布宜諾斯艾利斯地區及鄰近之 Centro 與 Litoral 等區域，而電源則除了仰賴 900 公里外之巴西進口電力外，其本國之水火力發電廠亦在 1200 公里外之西北部及西南部地區需要長程輸送。因應供電瓶頸亦採用特殊防衛系統，一旦特殊防衛系統動作，阿根廷電網將分割獨立成三個電力島，分別爲布宜諾斯艾利斯東北部系統、西南部系統、西北部系統。東北部系統經由兩個 500kV/525kV 50Hz/60Hz 1100MW 之背對背式變頻站與巴西系統相連，跳機與卸載之門檻均取決於該兩個變頻站是否超載。其西南部系統電源爲 4600MW，而輸電系統容量僅 2500MW，增建輸電線路因爲對既有發電業者無利可圖而且有 1200 公里的地權問題須要克服，因此成爲該國政府之重要課題。

在阿根廷之卸載規畫方面，如上所述之區域供需不平衡問題，導致一旦有事故造成 500MW 以上之負載跳脫時，系統就必須自動跳脫發電機組。電業面臨這種可能必須自動跳機之現象，所採取的態度是增加電力系統穩定器(PSS)、跳機控制系統等之投資，以便能在既有輸電能力限制下把現有機組之發電量儘量提升，而並不是增加輸電線路投資真正解決問題，因此阿根廷之電力系統供電可靠度目前存在高度風險。

舉例而言，在該國南北樞紐之 Ezeiza 與 Rodríguez 兩個變電所間之兩條 500kV 幹線，跳脫 1 條時將會使得僅存之幹線超載 500MW，北部系統缺電 500MW，南部系統電力過剩 500MW。於是北部系統將自動卸除 500MW 負載，而南部系統則有 500MW 發電機組將

被自動跳機。如果 Ezeiza 與 Rodríguez 兩個變電所間之兩條 500kV 幹線均跳脫，則不僅南部系統增加發電機組跳脫量，特殊防衛系統亦將跳脫 1000 公里外最西北部的 El Bracho 發電廠機組。

其特殊防衛系統之主站透過通訊網路蒐集及監控 20 個電廠及變電所設備，這些電廠及變電所最遠在 1000 公里外，特殊防衛系統之反應時間自事故發生開始需在 180 毫秒內完成卸載解聯等反應動作。目前阿根廷著手規劃西北部和西南部透過人口較少區域之聯絡輸電線路，以解決狹長輸電系統近似放射狀系統之輸電效率與可靠度問題。

超高壓直流輸電技術最近亦發展了輕型系統(HVDC Light)，該輕型系統主要運用在以電力電纜傳送電力之系統，其運用技術除了採用以電壓驅動的閘絕緣雙極電晶體(IGBT Insulated Gate Bipolar Transistors)與傳統使用閘流體需要以電流驅動方式不同之外，並運用波寬調變技術(PWM Pulse Width Modulation)可以在有效功率與無效功率之傳輸上更為靈活。

在巴西國內之長距離輸電方面，138kV 以上輸電線合計長達 19278 回線公里。主要電壓等級除了 ± 600 kV DC 之外，包括 138kV、230kV、345kV、500kV、765kV。巴西最大電力公司 FURNAS 公司之輸電網路如圖 3.1 所示， ± 600 kV DC 及 765kV 輸電線僅在最大的伊太普發電廠與負載中心聖保羅地區間之幹線採用，系統主要以 345kV 及 500kV 三相交流線路為幹線。其輸電線路採取 N-1 設計，由於供電吃緊，因此輸電線路跳脫時通常需要伴隨發電機跳機之動作。此外由於輸電線路過長，因此 500kV 以上交流輸電線路多半需要大容量的串聯電容器加以補償，如圖 5.1 所示由伊太普輸送往聖保羅地區之 765kV 輸電線在變電所端設置有線路串聯補償電容器。

在輸電線路之過電壓問題上，設計上以事故單端跳脫後瞬間 $t(0+)$ ，線路末端電壓不超過 1.4 標么為原則，穩態線路末端電壓不超過 1.1 標么為原則。在此原則之限制下，在適當長度之處必須興建超高壓變電所，以限制電網節點間之線路長度及維持系統互聯，例如圖 5.1 所示由伊太普輸送往聖保羅地區之 765kV 輸電線，在中間有 Ivaiporã 及 Itaberá 兩個超高壓變電所。伊太普發電廠之發電機經過升壓變壓器後採瓦斯絕緣輸

電管(GIL)接到連接站以架空線引出，如圖 3.2 所示。

在提升計有輸電線路送電容量方面，巴西電力研究中心研究將設計新型間隔器同相複導體之導體間距加大，有效提升架空輸電線路之送電容量。此種方式必須一併修改鐵塔之結構，在不修改占地面積之情況下提升送電容量。

韓國新建超高壓變電所 765kV GIS 全面安裝內置式局部放電感測器，加入系統前進行局部放電測試時，以 1.0 標么加壓 10 分鐘，1.5 標么加壓 5 分鐘，1.7 標么加壓 1 分鐘。台電在此方面曾與韓電及日本中電等交流，參考日本意見，基於 GIS 之故障率低，若全面安裝內置式局部放電感測器，投資效益不高，且可能形成新的漏氣及故障弱點，因此採取移動式感測器定期量測方式，自 96 年起開始試辦。

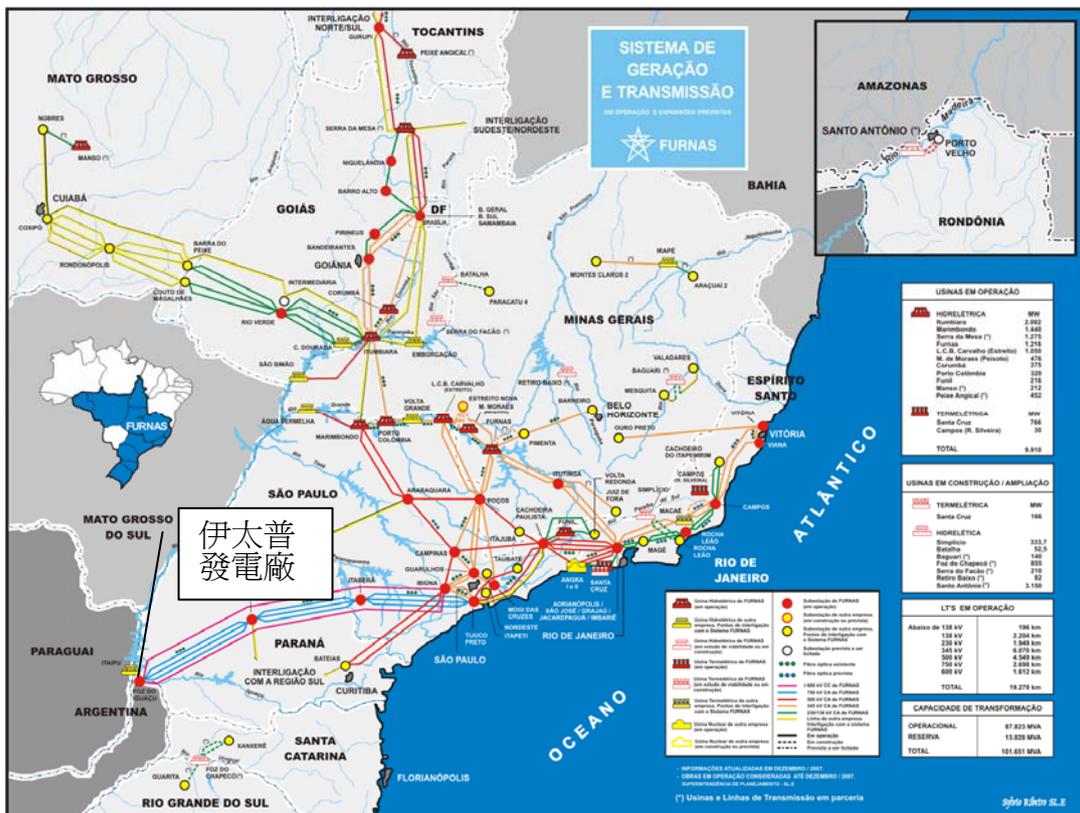


圖 3.1 巴西 FURNAS 電力公司輸電網路圖(該公司官方網頁公佈資料)

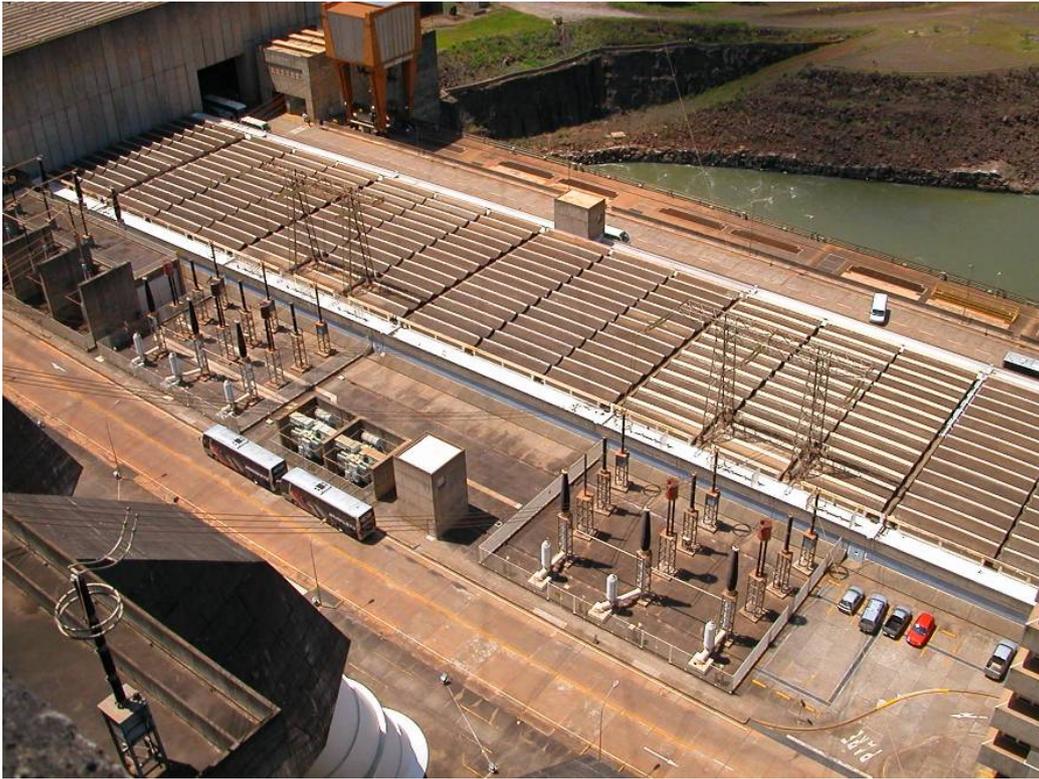


圖 3.2 伊太普發電廠升壓變壓器採 GIL 接到連接站以架空線引出

四、控制系統與電力電子技術

美國電力研究院 EPRI 開發在鐵塔上安裝感測器，以偵測洩漏電流及導線溫度等，結合無線射頻辨識系統(RFID)技術，用資料蒐集器在近距離經由無線傳輸蒐集資料，回到辦公室上載傳回或由現場之資料蒐集器直接傳回 EPRI 分析。對絕緣碍子之洩漏電流監測是以大於 30mA 作為發出警報必須注水清洗絕緣碍子之判斷基準。

類似之運用包括採用以三維(3D)方式配置之超音波感測器、天線陣列(Antenna Array)等進行變壓器線上局部放電診斷，以及繞組變形試驗(Frequency Response Analysis FRA)。有關 3D 變壓器線上局部放電診斷部分，供電單位亦有高屏區盧俊宏等有診斷經驗，並在供電單位變電技術交流會議中報告。供電處可進一步蒐集 EPRI 相關資料，並在下次與 EPRI 之 P166 計畫研討會中請 EPRI 分享相關診斷技術資料。另外有關以特殊之攝影機尋找氣封絕緣開關設備 GIS 等之六氟化硫洩漏點之診斷，供電處參與 EPRI 之 P166 研究計畫歷次會議中，EPRI 專家已有提出報告，供電處已掌握此新訊息，

只是該等儀器目前市場上僅有一家與 EPRI 有特約關係之製造廠生產。

在天線陣列(Antenna Array)之運用方面，除了 EPRI 所介紹之局部放電之運用外，今(97)年日本中部電力前來台電訪問亦介紹了在屋外變電所安裝天線陣列結合攝影機，作為一但發生變電所內設備事故時自動辨認故障設備，提供作為事故隔離復電之輔助判斷。鑒於變電所內設備故障跳脫之機率不高，因此安裝固定式天線陣列作為事故判斷工具在投資報酬率上可能不高。然而在以移動式之天線陣列診斷車開到屋外式變電所，佈設移動式天線陣列診斷該所有無設備有局部放電現象，似乎可藉供電處參與 EPRI 之 P166 研究計畫之回饋金運用，請 EPRI 前來示範。

日本中央電力研究院報告開發以 X 光量測架空線路之鋼芯鋁線 ACSR 內部腐蝕情形診斷技術，X 光產生器本身僅 5.5 公斤重，約 14*12*10 公分大小，採用小滑車載運掛於導線上，每 2.5 小時可拍攝 13 張照片，依據鋼芯鋁線腐蝕生成物氫氧化鋁之多寡，推估導線強度下降至初始值 90%以下時，則規畫更換導線。其研究報告指出工業污染造成之鋼芯鋁線腐蝕比鹽霧害嚴重，此與新桃供電區在觀音工業區有工業污染地帶之架空輸電線路維護經驗上發現線材與鐵器腐蝕情況較嚴重之情況相符。該研究模擬加速老化試驗，以高鹽霧害之環境可以在 3.4 個月間模擬出相當於一般環境下運轉 34 年之導線腐蝕結果，並以拉力等試驗推估導線餘命，再以對應之腐蝕情形作為現場診斷之判斷基準。該等技術並可作為壓接端子內導線是否斷裂之診斷。該等導線診斷之結果作為更新導線之判斷參考，對架空輸電線路資產管理提供了一種新的指標。

日本九州電力公司則報告 154kV 以上架空輸電線路安裝附招弧角之線路避雷器使用情形，在比較上每四座鐵塔安裝一組避雷器，則與未裝設避雷器相較每年受雷害跳脫之比例會降至 90%，每兩座鐵塔安裝一組避雷器，則跳脫之比例會降至 65%，每座鐵塔均安裝則可降至 5%。

韓國大學博士生報告新型 36 級高壓交直流換流技術，但尚未進入商品化階段。其他兩篇則為作者報告台澎海纜工程前之電力品質分析，以及台電降低線損之研討。

五、水力發電技術

法國顧問公司專家報告水庫沉澱物之管理問題，沉澱物淤積關係到水庫使用壽命之估計，涉及因素包括沉澱物之成分、數量、口徑。以巴西某水力發電廠為例，其下池水質中之沉澱物 85%為石灰質，14%為直徑小於 0.5mm 之中細沙，1%為直徑大於 2mm 之粗砂。直徑超過 1mm 以上之砂含量較高為沉澱物淤積之主因，若沉澱物直徑均小於 0.5mm 則不至於對河道造成淤積影響，而直徑小於 0.2mm 之雜質將可直接被水流帶走。

伊太普水力發電廠運轉已超過 20 年，與會專家詢問有無機組更新計畫，巴西專家回答考慮到更新機組隊提升發電機效率有限，在成本考量下不考慮更新機組。

日本中央電力研究院報告水庫閘門之狀態評估管理，包括生鏽、變形、機械疲乏等均建立資料庫。

伍、參觀發電廠與換流站心得

一、參觀伊太普(Itaipu)水力發電廠

巴西伊太普(Itaipu)水力發電廠水庫面積 1350 平方公里，1975 年開始動工，1984 年第一部機開始試運轉。平常最高水位 220.3M，最低 219M，蓄水量約 29×10⁹ 立方米。自 1985 年開始商轉，當時有 700MW 水力機組 50Hz 及 60Hz 各 9 台，後來因為負載成長再各增設 50Hz 及 60Hz 機組各 1 台於 2007 年運轉，目前合計總容量 14000MW(約佔台電總裝置容量的三分之一)。

該發電廠供應巴西及巴拉圭兩國之用電，由兩國成立跨國公司管理，目前發電量佔巴拉圭全國供電量 90%以上，以及巴西供電量之 20%以上。參觀當日 11 月 21 日上午 10 點之瞬時出力為 10,895MW，約為其裝置容量之 77.8%。2008 年至 11 月 21 日上午止發電量 84,917,158 MWH，統計今年平均發電量為其裝置容量之 77.6%。機組之年不可用率目標值為 0.5%以下，2003 年至 2005 年實績在 0.05%以下，2006 年為 0.57%，2007 年為 0.28%。

伊太普發電廠相關之輸電線路分為 50Hz 及 60Hz 500kV 各 4 條，50Hz 經由 500kV 輸電線路兩進兩出接到巴拉圭境內之 Right Bank 變電所轉換為 220kV 接入巴拉圭輸電網。為了融通 50Hz 及 60Hz 系統之電力輸送，因此在約 10 公里外之福斯多伊瓜蘇(Foz do Iguaçu)興建伊瓜蘇換流站。換流站與伊太普水力發電廠間之系統連接及相對位置示意圖如下。

發電廠及換流站之監控系統功能包括自動發電控制(AGC)、自動電壓控制(AVC)、量測系統評估(Measurement System Evaluation MSE)、送電量監測與排程(Interchange Rescheduling and Monitoring MPI)、系統復電用之擾動分析(Disturbance Analysis for System Restoration G2)、電力系統監測(ESM)、水力系統監測(HSM)、運轉重新排程功能(Operation Rescheduling Function SCO)、水力最佳調度(HOD)、啟動即時運轉規則功能(Real Time Rules Activation SARTRE)以及調度員模擬訓練系統。

該發電廠亦附設有科技公園，與當地大學合作，辦理科技訓練與競賽活動。此外亦設有自然生態公園，提供生態教育及民眾休閒活動空間。電廠週邊之綠地植樹，凡在該廠任職 15 年以上者，可在該綠地種植一棵樹苗，並標示植樹者之姓名及職位，以達到宣導作用。電廠周圍並建有 10 公里長之魚梯運河，以供魚類迴游繁殖。

伊太普發電廠之介紹影片中提及，自商轉迄已提供超過 60 億美金以上作為兒童、成人教育、公益、醫院與周邊建設等社會回饋用途。

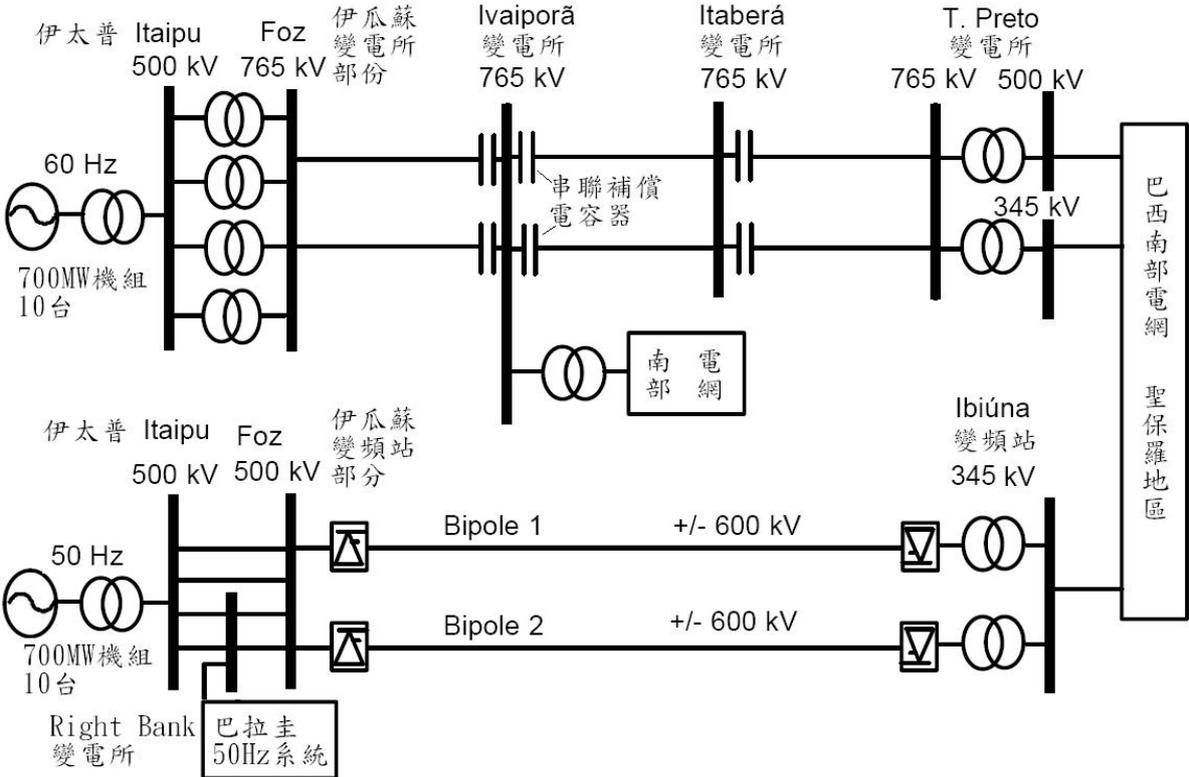


圖 5.1 伊瓜蘇換流站與伊太普(Itaipu)水力發電廠間之系統連接示意圖



圖 5.2 伊瓜蘇換流站與伊太普發電廠之相對位置示意圖
(圖片擷取自網路 Google Earth)

二、參觀伊瓜蘇換流站(Foz do Iguaçu Converter Station)

福斯多伊瓜蘇換流站(Foz do Iguaçu Converter Station 簡稱伊瓜蘇換流站)內部實際包含 500kV/765 kV 變電所(Substation),以及交/直流換流站(Converter Station)部份,整個變電站不含綠地約占地 975 公尺長 820 公尺寬。一條±600V DC 線路用換流設備部份佔地約 200m*230m,房子內為其閘流體設備(Valve)及冷卻用輔機與控制室,3/5 次、11/13 次、24/36 次諧波濾波器安裝在戶外。變電所之交流電源有 4 回線 60Hz 500kV 輸電線路,轉變為 750kV AC 輸送往聖保羅地區之巴西南部電網。換流站之交流電源有 4 回線 50Hz 500kV 輸電線路,均來自伊太普(Itaipu)水力發電廠,其中 2 回線串接巴拉圭所擁有之 500kV/220kV 變電所,在此換流站轉變為±600kV DC 各兩回線輸送往 Ibiuna 換流站再變為 750kV AC 接入聖保羅地區之巴西南部電網,每一路±600kV DC 輸電線路容量 6300MW。

由於上述伊太普(Itaipu)水力發電廠與負載中心之聖保羅地區相距約 800 公里,依據一般顧問公司之評估,長度超過 600 公里以上之架空線路(海底電力電纜則在 50 公里

以上)採用超高壓直流(HVDC)輸電綜合土地、輸電線路、變電所、換流站及輸電損失等成本考量，會比交流輸電之效益為佳，因此在 1985 年興建時採用超高壓直流(HVDC)輸電系統，是由 ABB 公司承攬。依據巴西 Furnas 電力公司人員表示，估算使用超高壓直流(HVDC)輸電系統之電力損失約 4%至 5%，若採用交流輸電系統則約 8%，故超高壓直流(HVDC)輸電系統之電力損失較低。本公司在計畫興建台灣澎湖海底電纜時亦曾討論過是否採用超高壓直流(HVDC)輸電系統，爲了線路數量少、簡化備品及運轉維護技術成熟等考量，最終仍採用與既有系統直接匹配之 60Hz 161kV 輸電線路。

台電公司因應虛功率缺乏之變化及系統電壓崩潰防制需要，正研討將在龍潭超高壓變電所安裝靜態同步補償器(STATCOM)，其硬體結構亦需用到與高壓直流(HVDC)相似之閘流體、高壓電容器、諧波濾波器等。在設備運轉維護經驗上請教了伊瓜蘇換流站技術人員表示，過去實際運轉維護上很少發生故障停用情形，約每兩年有一次被迫停機之事故，主要故障在於閘流體冷卻用之純水循環散熱器泵浦等輔機故障。經查閱巴西 FURNAS 電力公司與製造廠 ABB 公司技術人員在 1996 年所撰寫的「ITAIPU HVDC TRANSMISSION SYSTEM 10 YEARS OPERATIONAL EXPERIENCE」運轉十年經驗一文，顯示其運轉過程出現較大的故障包括於 1985 年一支 600kV 穿牆套管發生閃絡，其原因爲細雨斜飄導致套管之屋外露出部分局部潮濕局部乾燥，而發生電位分布不均導致閃絡。其防止再發措施爲塗抹矽油膏，每四年更換一次矽油膏，塗抹後迄今未再發生類似故障。

此外 1989 年亦曾發生閥組件(Valves)內閘流體(Thyristors)之冷卻水漏水約每秒 1 公升，而警報未立即正確動作，致冷卻水沿著閥組件漫延約 8 分鐘累積約 500 公升水，導致閥組件閃絡波及緩衝電容器引起火災。其防止再發措施爲修改漏水跳脫條件爲漏水每秒 0.14 公升即跳脫。該事故之後更換許多元件，至約 14 個月之後才恢復運轉。

ABB 公司對該高壓直流(HVDC)換流設備之可靠度保證所有單一元件每年最長停用時間 18 小時，運轉前 5 年之實績最長爲 1989 年的 15.6 小時，最近幾年都在 0.4 小時以下。而其運轉前十年之故障統計，也確實以純水循環散熱器泵浦等輔機及控制系統元件故障較多，每年各約有 7 至 9 次之強迫停機(Forced Outages)。

其設計採四組 300kV DC 換流器串接方式如圖 5.3 所示，如果其中一組 300kV DC 換流器故障，在事故處理上仍可改將該組 300kV DC 換流器予以旁通短路，再 HVDC 之接收端亦作同樣旁通短路處理，兩極的 HVDC 仍可繼續採取降低容量及變更電壓方式運轉，是相當好的設計。事實上該換流站在 1984 年局部組裝完成就先以 300kV DC 開始運轉，至 1985 年全部安裝完成才以 600kV DC 正式運轉。

換流器的閥組件(Valves)之閘流體數量龐大，每一個小閥組件內含 96 個閘流體，每一組 300kV DC 換流器使用 48 個閥組件，全換流站合計使用了 18,432 個閘流體(Thyristors)。該變電站人員展示了一個備品閘流體，每個閘流體約直徑 20 公分，厚 1.5 公分。其它主要元件包括併聯電容器、交流諧波濾波器、高壓直流濾波器等如圖 5.9~5.15 所示，均安裝於屋外。其中直流電容器爲了節省用地，採取絕緣磚子懸吊式，與一般固定於台架之方式有所不同。

500kV 斷路器使用空氣斷路器(ABB)，此型斷路器操作時聲音大，在本公司最先建立之 345kV 系統多採用此型斷路器，後因地狹人稠於變電所週遭住宅發展情況下曾引起居民抗議，復以製造廠 BBC 公司已停產，備品供應上與部分元件維修困難陸續有復閉不成功、相間失步等問題，故而本公司大多已停用 345kV 空氣斷路器。

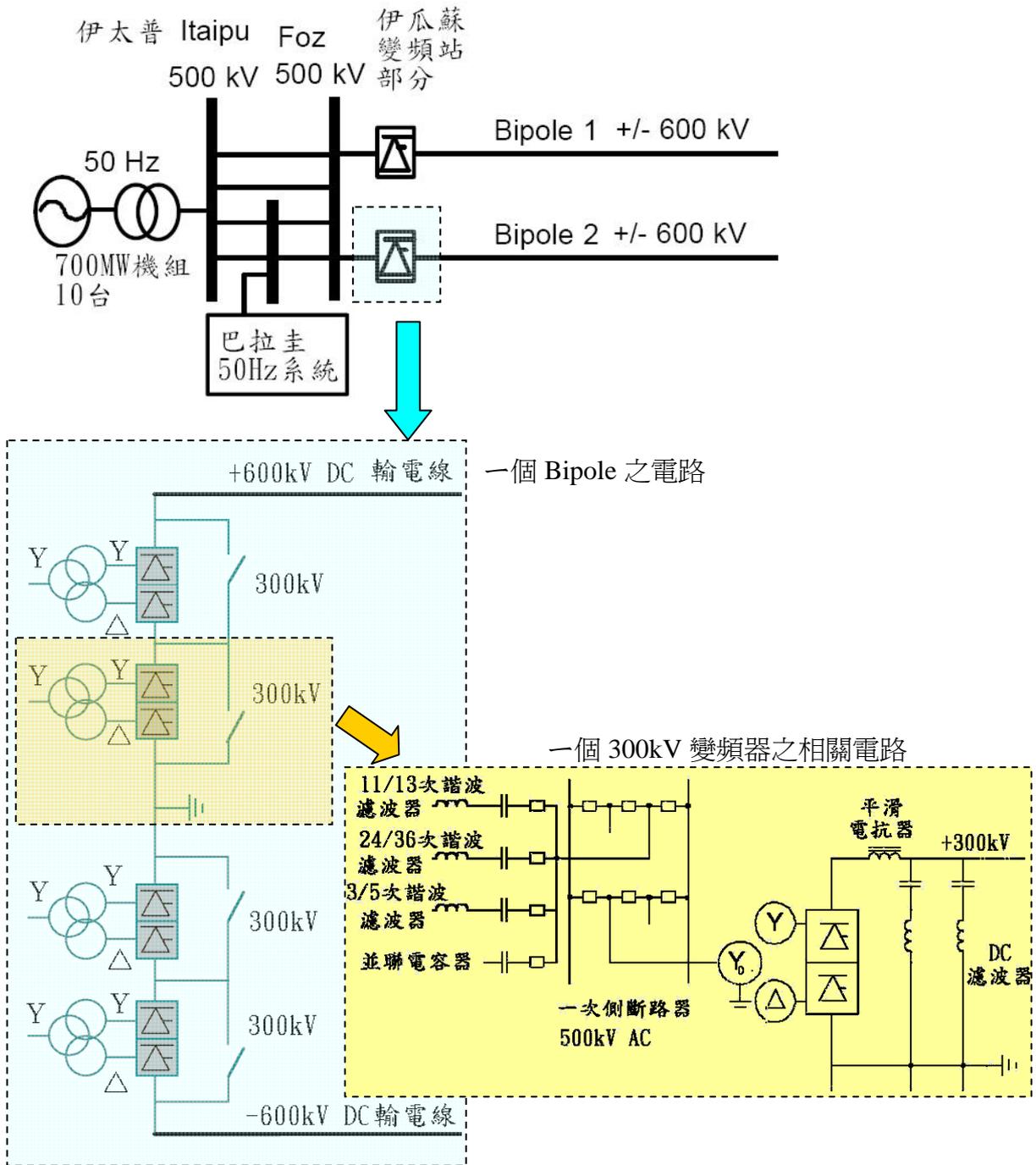


圖 5.3 伊瓜蘇換流站之構成電路

三、伊瓜蘇配電變電所概要 (Subestação Foz do Iguaçu)

參訪伊太普發電廠途中經過伊瓜蘇配電變電所，由於與作者工作領域息息相關，因此參觀完伊太普發電廠後，次日清晨返國前自行雇車前往該變電所外觀，以概略比較巴西與台電變電所設備之差異。

如圖 5.16 等所示，該變電所為屋外式，一次側電壓 138kV 二次側應為 11kV。其設備配置與本公司早期之屋外式 P/S 裝設有配電變壓器者相似。變電所設置在都會區之外圍，綠化情形良好，採半開放式設計，設置有攝影機，上午 7:00 有車輛在所內，又未見保全刷卡系統，判斷應該有人駐守。相較於台電之一次變電所以下均已改為遙控無人駐守，國情及環境條件不同，人力部署亦有所不同。由圖 5.19~5.24 可以發現，整體而言台電屋外式變電所之設備等級與維護情形優於伊瓜蘇配電變電所。



圖 5.4 伊瓜蘇換流站鳥瞰圖(圖片擷取自網路 Google Earth)
占地 975m*820m(不含綠地)



圖 5.5 一條±600V DC 線路用換流設備部份鳥瞰圖
(圖片擷取自網路 Google Earth) 占地 200m*230m



圖 5.6 500kV 開關場之配置與台電早期屋外式 E/S 之 345kV 開關場相近



圖 5.7 500kV AC ABS、避雷器(LA)、線路比壓器(LPD)及 BUS 鋁管



圖 5.8 500kV 斷路器使用空氣斷路器(ABB)



圖 5.9 諧波濾波器安裝在戶外，電容器為橫置方式，電感為空氣芯電抗器

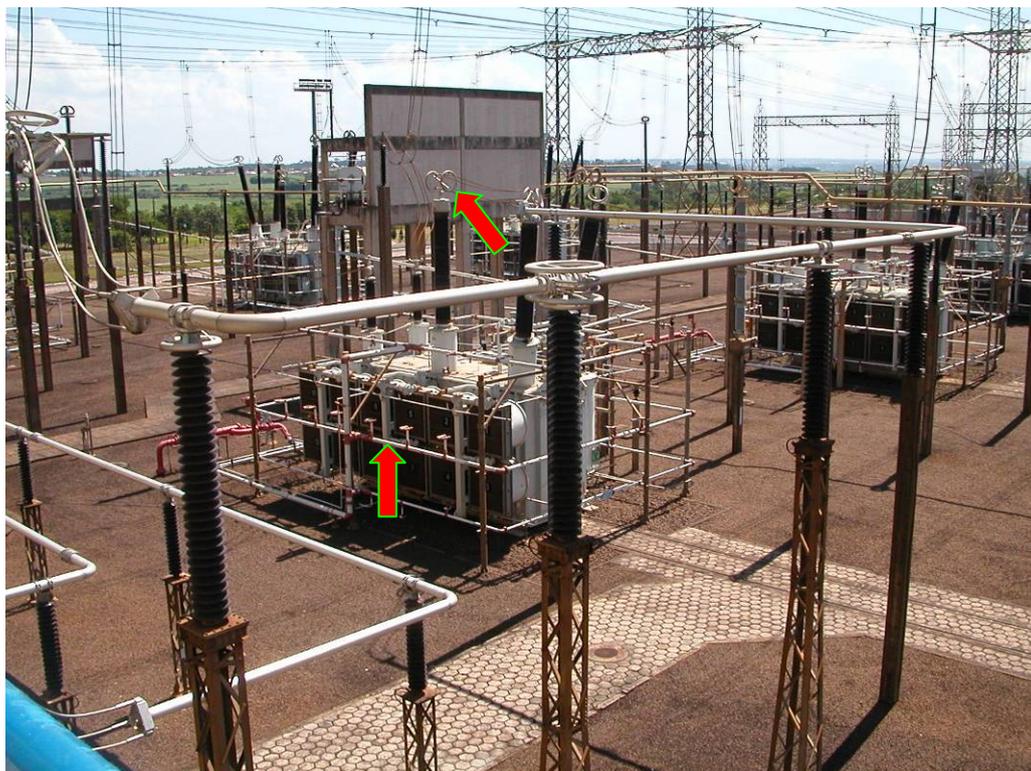


圖 5.10 換流站變壓器安裝水霧式滅火系統，500kV 套管頂部接頭設有均壓環



圖 5.11 換流站 500kV AC 電源採穿牆套管引入閘流體設備(Valve)室

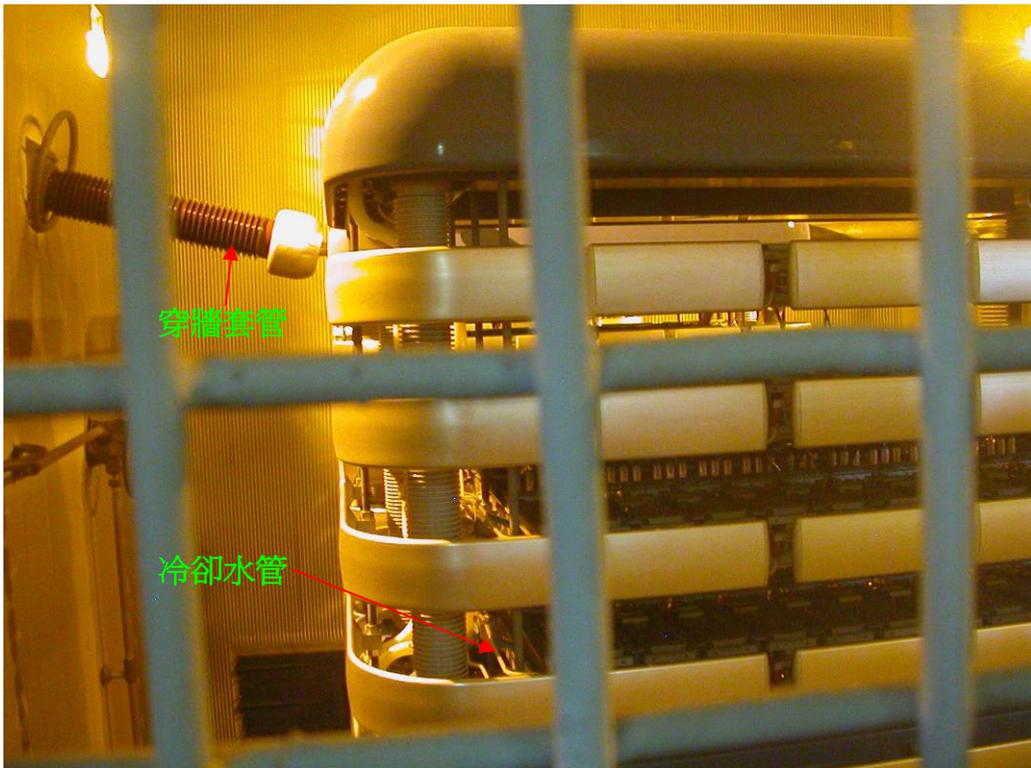


圖 5.12 換流站閘流體設備除玻璃隔絕外，還以鐵網防護

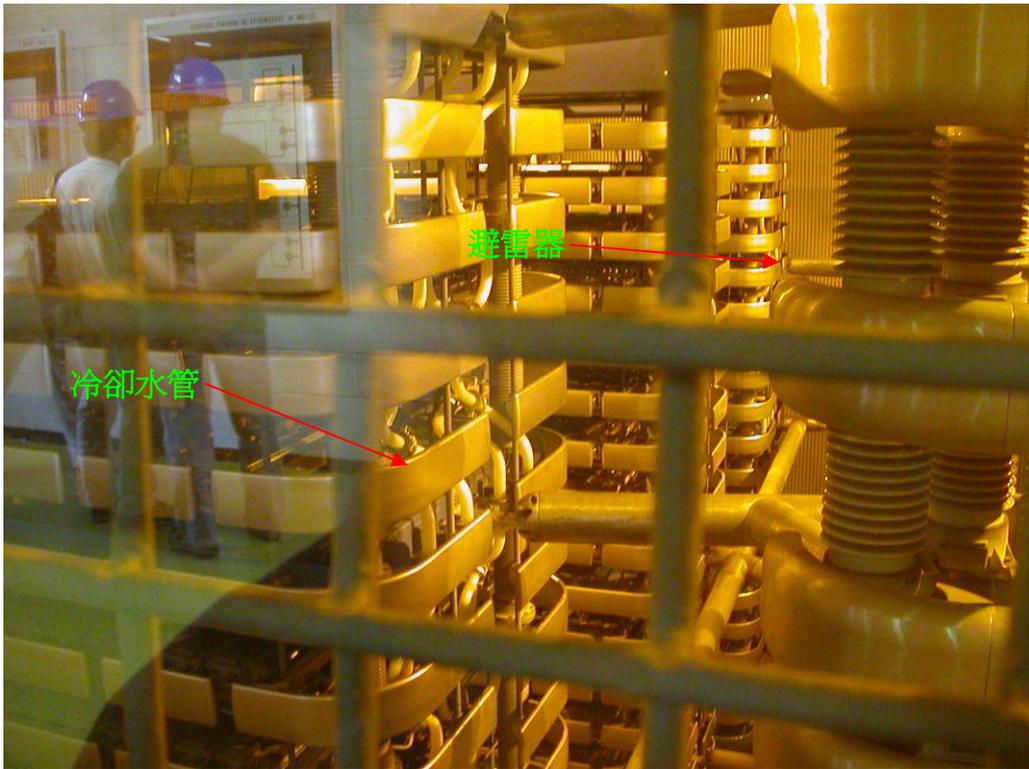


圖 5.13 換流站閘流體冷卻水管及 300kV 避電器

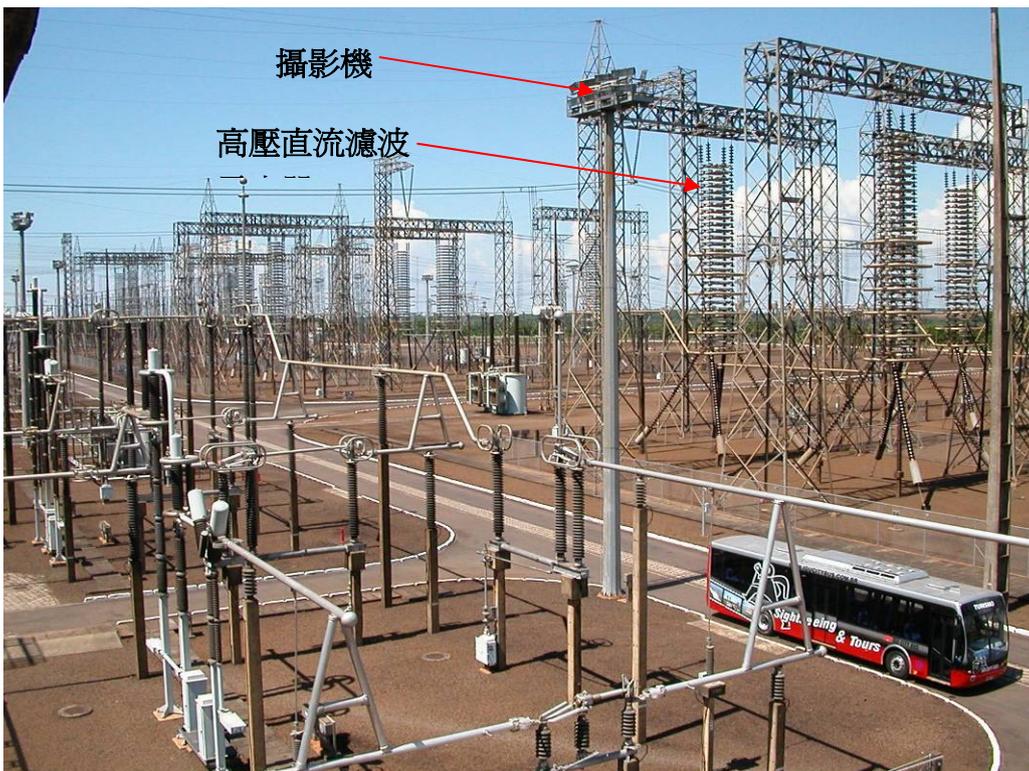


圖 5.14 換流站監視攝影機及採懸吊方式之高壓直流濾波電容器



圖 5.15 換流站之 600kV 避雷器上設置了一個半球形均壓罩



圖 5.16 伊瓜蘇配電變電所銘牌上標示變電所名稱及緊急聯絡電話



圖 5.17 變電所圍牆外張貼「高壓電有致死危險」警告標語

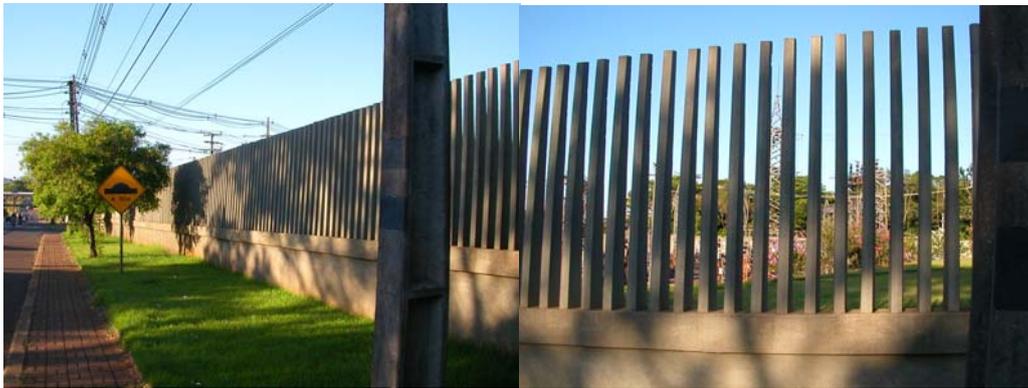


圖 5.18 變電所圍牆採半開放式設計



圖 5.19 伊瓜蘇配電變電所設置有攝影機及對講機



圖 5.20 伊瓜蘇配電變電所綠化情形及周圍環境



圖 5.21 伊瓜蘇配電變電所鐵構略有生鏽情形



圖 5.22 138kV 斷路器與比流器個別設置



圖 5.23 138kV 架空線路引進變電所

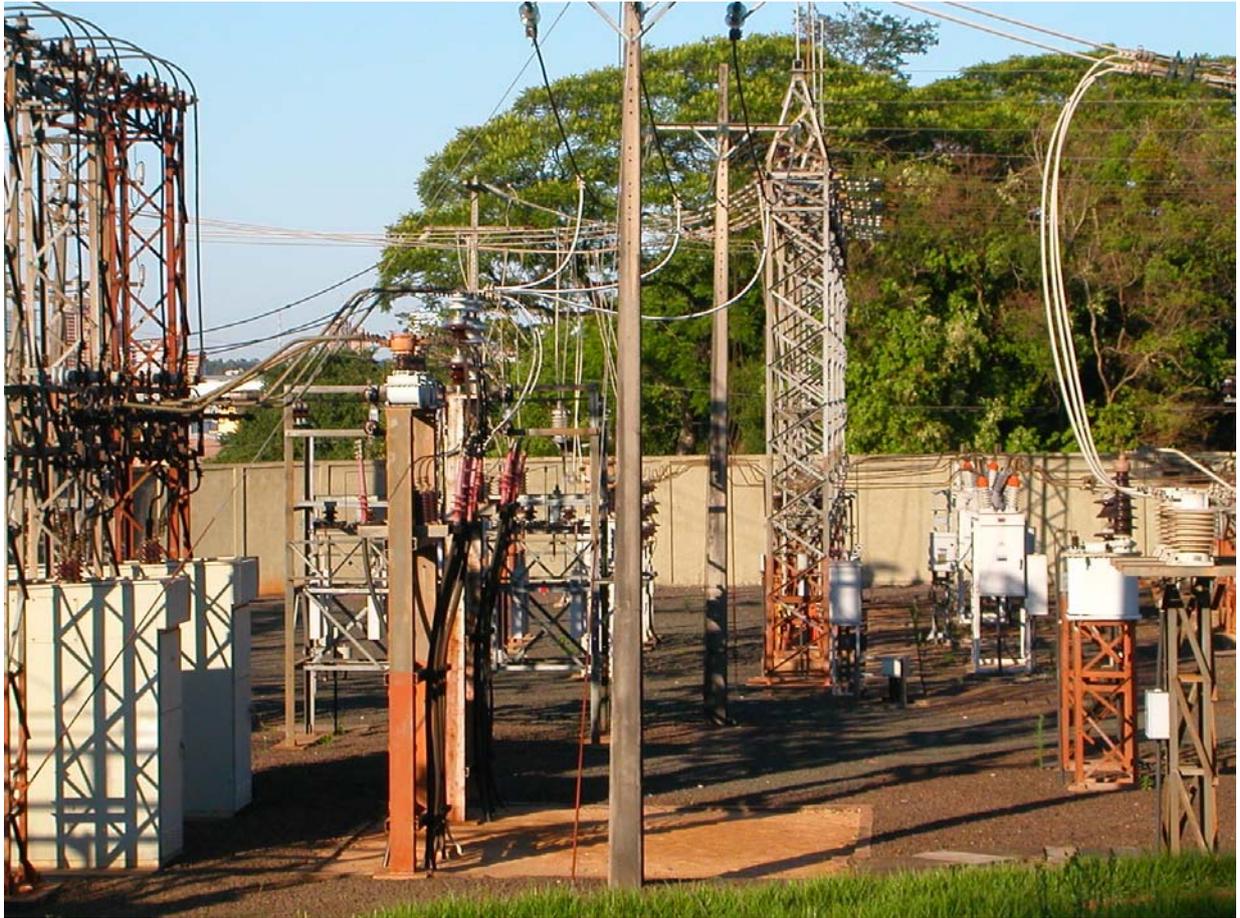


圖 5.24 中壓設備及連接電纜配置交錯