

行政院及所屬各機關因公出國報告

(出國類別：考察)

赴新加坡新能源電網公司(SP PowerGrid LTD)技術交流 出國報告

服務機關：臺灣電力公司

出國人員

姓名	職稱	單位	姓名代號	出國計劃
李肖宗	副總經理	副總經理室	063735	96 年度出國計畫 第 184 及 187 號
鄭金龍	處長	調度處	025407	
張忠良	處長	系統規劃處	066035	

出國地區：新加坡

出國期間：96 年 11 月 26 日至 96 年 11 月 30 日

報告日期：97 年 1 月 18 日

目 錄

頁次

壹、出國緣由	1
貳、赴新加坡新能源電網公司技術交流紀要	3
第 1 章 新加坡近況	3
第 2 章 新加坡電業改革歷程	6
2.1 電力產業在新加坡之角色	6
2.2 產業改革過程概述	6
第 3 章 新電力市場綜述	9
3.1 新電力市場的機構概述	9
3.2 批發電力市場概述	12
3.3 零售電力市場概述	15
第 4 章 新加坡新能源電網公司概述	17
4.1 組織架構及大事紀要	17
4.2 系統規劃	20
4.3 運轉及維護	22
4.4 專家系統	27
第 5 章 新加坡電力系統調度中心	33
5.1 能源市場管制局職掌	33
5.2 能源市場管制局組織	33
參、結論與建議	40

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴新加坡新能源電網公司(SP PowerGrid LTD)技術交流出國報告

頁數 43 含附件 是 否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話：臺灣電力公司／陳德隆／23667685

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話：

李肖宗	臺電公司	副總經理室	副總經理	02-2367-8002
鄭金龍	臺電公司	調度處	處長	02-2368-8917
張忠良	臺電公司	系統規劃處	處長	02-2367-6979

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：96 年 11 月 26 日至 96 年 11 月 30 日 出國地區：新加坡

報告日期：97 年 1 月 18 日

分類號／目

關鍵詞：新加坡新能源電網公司，新電力市場，系統規劃，運轉及維護，專家系統。

內容摘要：

新加坡新能源電網公司是輸配電管理之公司，負責供應可靠及高品質之電力，其專業技術涵蓋網路規劃，計畫管理，網路管理，控制與通訊及狀態監視。本公司在輸電規劃，系統調度，及運轉維護已具相當規模，該公司技術及經驗，值得學習之處甚多，加強雙方合作關係，有利於本公司技術之提昇。

壹、出國緣由

96年3月21日至23日新加坡新能源電網公司(SP PowerGrid)副董事經理 Chang Swee Tong(曾瑞棠，相當於本公司副總經理)率該公司人員至本公司訪問，除拜會總經理外，並參訪本公司輸電設施及南科管理局，對本公司提供高科技電子產業可靠及高品質之電力，留下極為深刻之印象，雙方隨即於96年8月1日簽訂合作備忘錄，為期5年。

該公司副董事經理 Chang Swee Tong 亦希望本公司副總經理層級及相關部門單位主管能參訪該公司輸電設施，並針對系統規劃、系統調度、變壓器絕緣油測試、地下電纜狀況監視、海底電纜、變電所等議題交換經驗。另本公司調度處刻正進行電能管理系統(Energy Management System, EMS)之建立，SP PowerGrid 亦將安排參訪新加坡 Power System Operator(PSO)，本公司將可獲得 PSO 寶貴之電能管理系統經驗。

自雙方簽約後，此次訪問係本公司首次派員赴新加坡 SP PowerGrid，由李副總經理肖宗及處長級人員代表本公司前往訪問，除表達本公司高層對雙方合作備忘錄之重視外，亦有助於提昇本公司與新加坡 SP PowerGrid 之電力合作關係。本次訪問 SP PowerGrid 自本(96)年度11月26日至30日共計5日，由副董事經理 Chang Swee Tong 及該公司電力專家簡報相關議題及訪問相關機構，訪問行程如表所示。

本次訪問行程與機構

日期	訪問機構與地點	活動內容
96.11.26	台北至新加坡	赴程
96.11.27	SP PowerGrid	<u>上午</u> 資產管理 客戶管理 參觀緊急運行控制中心 <u>下午</u> 參觀 400kV 電站
96.11.28	SP PowerGrid	<u>上午</u> 狀態監測 狀態維修 專家系統與通知 <u>下午</u> 參觀配電控制及客戶服務中心 參觀能源管理局
96.11.29	SP PowerGrid	<u>上午</u> 電網規劃 <u>下午</u> 參觀海底電纜隧道 交流總結
96.11.30	新加坡至台北	返程

貳、赴新加坡新能源電網公司技術交流紀要

第 1 章 新加坡近況

新加坡自 1965 年 8 月 9 日脫離馬來西亞，成立新加坡共和國，即致力於政治及經濟之改革，2006 年之國民平均所得約 30,723 美金，為全世界第 17 個富有之國家，外匯存底共約 1470 億美金。本章概略介紹新加坡之地理位置，歷史文化，政治，及經濟發展等近況。

1.1 地理

新加坡共和國(Republic of Singapore)位於馬來半島，如圖 1.1，在馬來西亞之南端，印尼之北端；它由新加坡島及附近 63 個小島組成，其中新加坡島占全國面積的 88.5%，全國總面積約 704 平方公里，約為台北市 272 平方公里之 2.6 倍，該國人口 2007 年預估約為 468 萬人，約佔台北市人口 263 萬人之 1.8 倍，由台北至新加坡約 4.5 小時之航程。



圖 1.1：新加坡共和國及臨近國家地理圖

1.2 歷史

新加坡古稱淡馬錫(Temasek)，1824 年新加坡成為英國殖民地，二次世界大戰期間被日本佔領；1945 年日本戰敗，英國恢復對新加坡的殖民統治。1959 年 6 月 3 日，成為大英國協 (United Kingdom) 之自治政府 (self-government)，並在 1963 年 9 月 16 日與馬來西亞合併。1965 年 8 月 9 日，新加坡脫離馬來西亞，成立新加坡共和國，同年 9 月 21 日成為聯合國會員國。

1.3 政治

總統為國家元首，由全民選舉產生，任期 6 年，現任總統為 Sellapan Ramanathan。總統任命多數黨領袖為總理，現任總理為李顯龍(Lee Hsien Loong)，總統有權否決政府財政預算和政府官員之任命；總統和議會共同行使立法權，實行單一國會制。國會議員由公民投票選舉產生，任期 5 年，由國會議席多數的政黨組織政府，自 1959 年起人民行動黨(People's Action Party, PAP)在每次選舉中均贏得國會大選，該國官方語言為英語(English)，華語(Mandarin)，馬來語(Malay)，及泰米爾語(Tamil)。

1.4 經濟

新加坡是缺乏資源之國家，以電子製造、石化、旅遊、金融、及貿易為主，高度依賴美、日、歐及臨近國家，2006 年之國民平均所得(GDP per capita)約 US\$30,723 為全世界第 17 個富有之國家，外匯存底共約 1470 億美金。1960 年至 1984 年間 GDP 年均增長 9%，為亞洲經濟四小龍之一。新

加坡於 2001 年 12 月成立經濟檢討委員會(Economic Review Conference : ERC)，由李顯龍副總理擔任主席，委員會由政府、工會及私人企業界代表組成。專門研究新加坡未來經濟走向，同時又成立了由企業人士及學者組成的經濟評估委員會來監督前者，這是推動經濟改革之重要轉折。

新加坡在經濟上最大之轉變為力抗 48%之反對意見，在 2005 年 4 月宣佈解除賭禁，興建賭場，希望達到 15 年內，遊客數倍增長，兼旅遊收入增加兩倍的目標，即旅遊人數將由目前 900 萬人次，增加至 2000 萬人次。2006 年 5 月美國拉斯維加斯的金沙集團(Las Vegas Sands Corp.)取得濱海灣綜合度假勝地(Marina Bay Integrated Resort)的發展權，預計投資成本超過 38 億 5000 萬美元；將興建該國第一座賭城，外加三座 50 層豪華大飯店，如圖 1.2，預定 2009 年營業。整個計畫將會為該國帶來 3 萬個工作機會，生產總值在 15 年之前增加 0.8 個百分點。以旅遊為中心希望能帶動運輸，會議，醫療，金融等其他產業之高速成長。



圖 1.2: 濱海灣綜合度假勝地

第 2 章 新加坡電業改革歷程

本章介紹自 1995 年新加坡電力公司成立，至 2003 年新電力市場開始運作，其中電力產業在新加坡所扮演之角色以及產業改革之過程。

2.1 電力產業在新加坡之角色

電力產業在新加坡之經濟上扮演重要之角色，由於國內負載需求及商業用電的快速成長及擴展，新加坡非常依賴一個有效率及現代化的電力系統，在競爭價格上，電力的可靠供應，影響新加坡國內及國際的競爭能力，亦對國內經濟有直接衝擊。目前電業重整方案是由企業化產業推動高效率的電力競價機制，國營資產的民營化，以及國際電力公司的投資獎勵，在低風險的環境及現代化的競爭架構下，藉以提高新加坡的聲譽。

2.2 產業改革過程概述

新加坡之電力及管線瓦斯在傳統上為政府擁有之垂直整合產業，新加坡公用事業局（Public Utilities Board, PUB）成立於 1963 年 5 月，負責水、電及瓦斯之供給，自 1995 年起，新加坡政府即循序漸進的規劃該國電業之改革。

1995 年電力工業之第一次改革是政府將公用事業局(PUB)下的電力事業公司化，逐步開放發電及零售市場之競爭，使新加坡電力市場不再由政府集中規劃電力投資，不再主導發電及決定電價。在此次改革中是由政府投資的淡馬錫控股集團(Temasek Holdings)以控股的方式，擁有絕大部分電

力系統的資產，公用事業局(PUB)則轉型為電力及瓦斯產業的監督機關。在淡馬錫控股集團(Temasek Holdings)內，新加坡電力公司(Singapore Power)為控股公司，其下包括若干新的發電公司 PowerSenoko(現稱為 Senoko Power)及 PowerSeraya，輸電公司 PowerGrid，及供電及提供公用事業支援服務公司 SP Services Ltd。另一發電業者 Tuas Power 則直接隸屬於 Temasek Holdings。

1998 年 4 月 1 日為第二階段改革，新加坡電力交易市場(Singapore Electricity Pool)開始運作，此電力交易市場為批發市場(wholesale electricity market)，發電業者與 SP Services Ltd 在競爭之環境中執行交易。這個交易市場為一日前之電力市場 (day-ahead market)，並由 PowerGrid (擁有輸電網路，管理電力交易市場，及調度系統) 負責輸電系統的運轉。在市場上參與競爭的公司幾乎都是國營企業，為新加坡電力產業引進現代市場的許多特性，卻沒有即時現貨市場(real-time spot market)之複雜度，並為下一階段的改革提供良好的基礎。

1999 年 9 月，新加坡政府對電力產業通盤檢查，檢討是否應用批發市場之架構及管制結構支持電力產業之競爭，隨後於 2000 年 3 月，決定將電力產業解除管制全面開放競爭，主要重整議題包括：

- 將電力產業區分為開放競爭及不開放競爭兩部份;
- 建立系統調度機構及市場運作機構;

- 建立即時批發市場;
- 零售市場開放自由競爭。

同時新加坡政府決定對瓦斯產業之重整，引入競爭市場結構，為電力產業解除管制之配套措施。2001年4月1日，公用事業局重組，歸環境部管轄，成立能源市場管制局(Energy Market Authority, EMA)，負責電力及瓦斯產業之管制，確保電力系統運轉的安全，並由能源市場公司(Energy Market Company, EMC)，是由EMA及M-co Pte Ltd (M-co Singapore)合資所成立的公司，負責批發電力市場的運轉及管理，新加坡電業解除管制歷程，如圖2.1所示。



圖 2.1：新加坡電業解除管制歷程

第 3 章 新電力市場綜述

本章概述新加坡新電力市場，市場內不同機構之功能，以及批發及零售市場之運作情形。

3.1 新電力市場的機構概述

電力市場包括批發市場(wholesale market)及零售市場(retail market)，但兩者在某些方面有所重疊，批發市場從事電力相關商品在及時市場及現貨市場(spot market)之交易，以及支援雙邊合約市場；因此批發市場主要之關係透過市場調度公司(market operator)，從事發電機組及批發買家(wholesale buyers)間之交易。零售市場係由零售業者自批發市場買電並賣給或供給用戶，市場協助服務業者(MSSL)是零售市場之仲介，零售業者可透過市場協助服務業者進出批發市場。新加坡市場機構如圖 3.1，每個機構間有許多不同之關係，有些與電力潮流有關，有些則與合約及財務相關。

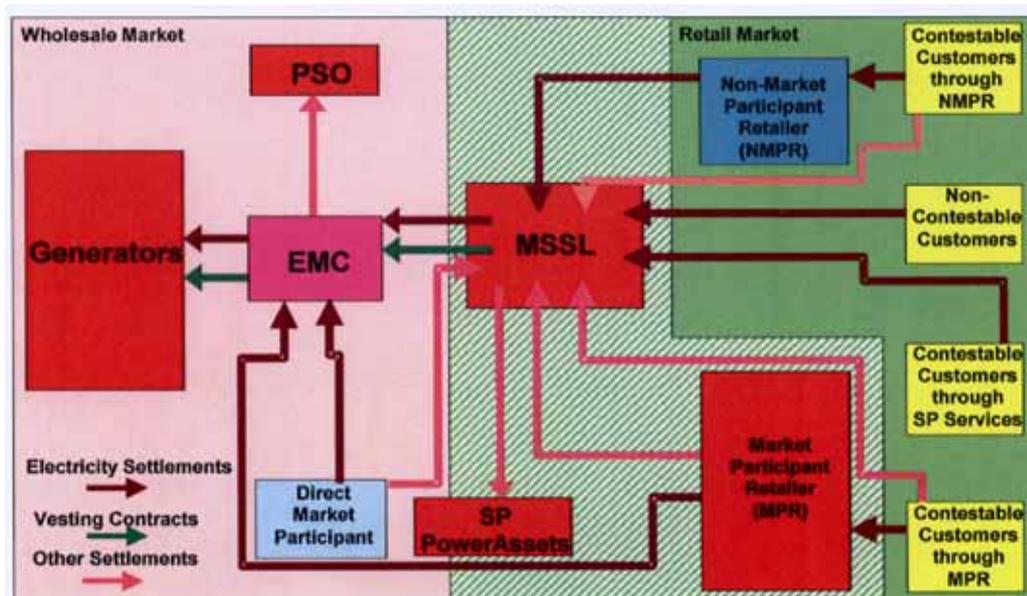


圖 3.1：新加坡新電力市場架構圖(財務流)

新市場的重要參與者如下所示：

1. 管制機構(The regulator)：能源市場管制局(EMA)是電力部門的管制機構(Regulator)，負責確保新電力市場(NEM)符合新加坡的需求。
2. 市場管制機構(The market regulator)：能源市場公司(EMC)負責營運及管理批發市場。
3. 電力系統調度機構(The power system operator, PSO)：電力系統調度機構是 EMA 下轄單位，負責確保用戶之供電可靠及電力系統的運轉安全，電力系統調度機構控制批發市場設備之調度，協調停機及緊急規劃，並依據輸電業者 SP PowerAssets 之運轉協議書內之條款，指示新加坡高壓輸電系統之運轉。
4. 輸電業者(The transmission licensee)：SP PowerAssets 擁有及負責輸電系統(包含高壓及低壓網路)之運轉及維護。
5. 發電業者(Generation licensees)：所有可供調度之發電機組容量超過(含)10MW，必須有能源管制局(EMA)之發電許可，必須向能源市場公司(EMC)登記並視為市場參與者，強制參與並確保任何顯著容量之所有發電機組，均能遵守市場規則。
6. 市場協助服務業者(Market support services licensees, MSSLs)：MSSLs 提供市場協助服務，包括讀表及電表資料管理。也提供有購電選擇權的用戶及零售業者在批發市場交易之服務，並對無選擇權

的用戶有供電義務。在新電力市場建立之初，負有供電責任之 SP Services Ltd 供電公司是唯一的市場協助服務業者。

7. 零售電業者(Retail electricity licensees)：零售電業者允許售電給有購電選擇權的用戶，它們可能是參與市場的零售電業者(Market Participate Retailers, MPRs)且直接在批發市場購電。或非屬參與市場的零售電業者(Non-market Participant Retailers, NMPRs)，可以間接透過市場協助服務業者(MSSL)購電。
8. 用戶(Consumers)：用戶依全年用電量決定是否有購電選擇權，有購電選擇權的用戶得向零售業者，直接向批發市場購電或間接透過市場協助服務業者向批發市場購電，無購電選擇權的用戶須向市場協助服務業者購電。

新加坡新電力市場相關之規則如下：

- 輸電業界及市場協助服務業者在批發市場不得有交易行為，或執行發電業及零售業之競爭活動，或擁有經營此活動之機構。
- 發電業者得在批發市場交易，亦得擁有零售業者，但不得從事壟斷之活動或擁有經營此活動之機構。
- 零售業者得在批發市場交易或由市場協助服務業者獲得電力，亦得購進電力，但不得從事壟斷之活動或擁有經營此活動之機構。
- 有購電選擇權之用戶得從它所選擇之零售業者購電，直接由批發市

場，或透過市場協助服務業者間接由批發市場購電。

- 所有其他之用戶(不具有購電選擇權之用戶)則由市場協助服務業者獲得電力。

3.2 批發電力市場概述

本段介紹批發電力市場之設計原則，調度及市場價格，備轉容量及機組調解市場，安全標準，市場展望，短期排程，及雙邊合約等，與批發市場相關之議題。

3.2.1 批發電力市場之設計原則

在競爭之電力市場，價格決定電力之調度，這與傳統集中規劃之系統剛好相反，傳統系統係由系統控制中心依照電廠之效率，及其他技術考量而決定調度。

新加坡批發市場之設計針對所有涉及運轉的團體給予信心，對市場參與者及大眾，確保運轉之有效及風險之降低，此設計原則如下：

- 健全：在廣泛的運轉條件下，市場必須具備可靠性及一致性。
- 透明：市場參與者及外部觀察者必須能看到市場如何運作，因此它們能夠確定此市場是合理的市場。
- 平等及公平：市場必須提供一個公平競爭(level playing field)的平台，對所有團體給予平等及開放進出之權利，只要它們想參與批發市場，並且符合批發市場之要求。例如，所有新的投資，包括既有

及擴充容量，均處於平等地位，對新進者不會給予任何必要之考量，反之亦然。

- 降低交易成本：應避免不必要之交易成本。

3.2.2 電力調度

在新加坡新電力市場，電力及時調度(機組排程供應電能，備轉容量，機組調節)，是由每半小時執行 1 次批發現貨市場之運作，發電機組提供容量(特定價格及容量)進入市場。另電力系統調度機構(PSO)提供負載之預測及該半小時系統之限制，然後市場決定最低成本調度量及相對應之市場決清價格(market clearing prices)。對市場而言，是輸電及系統條件限制下，備轉容量及機組調節之規定，以及發電廠之動態特性下，輸電系統上每一結點滿足負載預測之最小成本。

3.2.3 電能市場價格

批發現貨市場價格以最小成本反應電能調度，備轉電力及機組調解之提供，一般而言，每一部機組提出之價格低於市場價格，將會被調度，而每一部機組提出之價格高於市場價格，將不會被調度。可調度之發電機組收到之電能市場價格就是結點價格(nodal price)，此價格係依網路上結點之地點而變動。

在批發電能市場之買家以新加坡電能均價(Uniform Singapore Energy Price, USEP)付電能價格，此價格係每半小時所有結點之加權平均價。

3.2.4 備轉容量及機組調解市場

新加坡新電力市場收到市場參與者所提供之標價，並同時對備轉容量，機組調節，及電能之調度進行排程，因發電機組對備轉容量及機組調節沒有出力，僅處於可用狀態，新電力市場擁有備轉容量及機組調節市場，讓發電機組能提供容量，作為容量不足時之補償。

現貨市場價格確定機組調節及每類之備轉容量及其電能，全新加坡機組調節及備轉容量之價格是相同的，但得依照設備所屬之機組調節及備轉容量之類別及群別而變動。

3.2.5 避免風險及不確定性之要求及安全標準

新加坡新電力市場有避免風險及不確定性之要求及安全標準之機制，必須遵守市場之自然情況及調度方式，依據發電機組之價量決定其出力，安全標準顯示新加坡的整合電網與機組之出力具有相關性。避免風險及不確定性之要求，確保市場參與者在批發市場能符合財務義務，可保護產業帳款之呆帳。每半小時，電錶標準確保電能之進入及提出，能正確量測。

3.2.6 市場展望、預先調度情境及短期排程

在每半小時調度之前，應執行一系列之指標市場(indicative market)及預先調度(pre-dispatch)之情境分析，用以顯示調度期間可能之負載及供電水準，指標情境(indicative scenarios)幫助市場參與者確定有好的資訊，以便作為供需情況之參考，讓發電機組能有效調度及降低風險。在 6 日前準備且

提供給市場參與者，此資訊包括自 5 日前至當日止之每日市場未來情況，在開始調度期間之前，每 2 小時準備 1 次預先調度市場情境，一直到實際調度為止。

在每次調度期開始之後，短期排程也提供給市場參與者，短期調度排程包含未來 12 個調度時期。

3.2.7 雙邊合約及授權合約

除了在現貨市場交易，參與者亦能選擇雙邊合約(bilateral contracts)交易，這僅是單純的財務安排，參與者在現貨市場買賣，兩者間任何財務差額之結算，均隱含在雙邊合約內。這合約之設計可確定電業與用戶間之價格，並限制它們暴露在波動之現貨市場中，雙邊合約不會影響調度及現貨市場之計價，但電業與用戶得選擇 EMC 之結算系統，在合約下結算財務之差額。

授權合約(vesting contracts)是雙邊合約之另一種類，在轉移時期由能源市場管制局加之於發電業者，此合約之目的是用來約束大型發電業之市場力量(market power)；市場協助服務業者是所有授權合約的交易對方，由市場協助服務業者及發電業透過能源市場管制局之結算系統，結算兩者間之交易，市場協助服務業者與用戶或它們的零售業者然後再結算。

3.3 零售電力市場概述

直到 2001 年，新加坡曾有單一電力零售業或供電業(SP Services Ltd)供

電給所有之用戶，預期全面開放競爭批發市場，能獲取有效之利益，零售競爭也正式被引進。

就像其他許多競爭電力市場，新加坡之零售競爭正循序漸進的進行中，大容量之用戶首先具有購電選擇權，隨時間逐步降低進入競爭市場之基本用電量。新的零售市場允許小用戶有較多之時間學習及瞭解它們之選擇，當全面轉移至零售電業時能較順利，也不會有不當之技術規定加之於零售公司。

假定所有不具有購電選擇權之用戶及所有具有購電選擇權之用戶，不選擇零售業或由批發市場購電，則由市場協助服務業者 SP Services Ltd. 供電，SP Services Ltd 必須提供具有購電選擇權之用戶不想要由零售業或批發市場購電時，則透過 SP Services Ltd 以既有市場價格購電。當 SP Services Ltd 被允許供電給具有購電選擇權之用戶時，它得不參與或擁有發電業，SP PowerAssets 也被禁止參與零售業之活動或擁有零售業(以及參與發電業或擁有發電業)，這樣是確保零售業能在平等之基礎上使用相同之網路。

第 4 章 新加坡新能源電網公司概述

本章就新加坡新能源電網公司之組織架構，自 1995 年至 2003 年所發生之重要紀事，輸電系統之規劃，系統之運轉及設備之維護，以及專家系統之應用概略介紹。

4.1 組織架構及大事紀要

新加坡能源公司(Singapore Power, SP)自 1995 年 10 月 1 日成立，該公司在新加坡之 4 個子公司均持股 100%，澳大利亞亦投資 51%之澳洲電網，在臺灣則持長生電廠 25%之股權，該公司屬於淡馬錫控股集團，其組織結構圖如圖 4.1。SP PowerGrid 為新加坡能源公司之子公司之一，是輸配電管理之公司，負責供應可靠及有品質之電力，它已榮獲 ISO 9001:2000 在網路開發及管理之認證，其專業技術涵蓋網路規劃，計畫管理，網路管理，控制與通訊，及狀態監視，新加坡之電網績效名列世界前茅。本段概述新加坡新能源電網公司，自 1995 年至 2003 年所發生之重要紀事。

1995 年 10 月 1 日，新加坡能源公司(Singapore Power, SP)成立，將負責電力及瓦斯之公用事業局公司化，PowerGrid 為 SP 之子公司之一，負責輸配電之供應。

1996 年 12 月 11 日，PowerGrid 投資美金 1 億 3 千 1 萬元，沿著 Tuas Bay 建造海底電纜隧道，此輸電電纜從 Tuas 電廠聯結到 PowerGrid 位於 Ayer

Rajah 及 Labrador 之 400kV 變電所，此項措施不僅可節約美金 1 億 2 千萬元，並減少大眾之不便。

1997 年 1 月 29 日，SP Group 引進[新服務改善行動，擴充 SCADA 及配電管理系統，包含 300 個 6.6kV 變電所，改善供電可靠度，及縮短停電時間。

1998 年 4 月 1 日，新加坡電力交易市場成立，管制委員會任命 PowerGrid 擔任交易市場管理者，管理財務存入及結帳系統(Pooling and Settlement System)。

1999 年 1 月 11 日，一座新的特高壓系統在 Labrador 變電所正式加入運轉，新加坡之輸電需求進入新的紀元，透過故障管理及更有效率之電力輸送，加強 400kV 輸電網路系統能力。

2000 年 5 月，PowerGrid 之電表測試實驗室，榮獲 SAC-SINGLAS 國際認可。

2001 年 4 月 1 日，新加坡政府決定新加坡電力市場自由化，PowerGrid 之能源管理部門，及其財務存入及結帳系統(Pooling and Settlement System)之管理被分到能源市場管制局(Energy Market Authority)。

2001 年 5 月 2 日，為準備電力市場自由化，PowerGrid 開始裝設時間電表給用電量超過 240,000kWh 之非國內用戶。

2001 年 7 月 26 日，一座新的 230kV 變電所在 Tampines Wafer Park 正式運轉，滿足晶圓園區之需求成長。

2001 年 8 月 4 日，針對新加坡未來輸配電之需求，PowerGrid 預先從事 Senoko-Gambas，輸電電纜隧道之建造。

2001 年 9 月 22 日，PowerGrid 員工及其他公用事業產業傑出勞工，獲得模範勞工獎，此獎由 NTUC，公用事業局及能源市場監督局主辦。

2001 年 11 月 1 日，提昇 PowerGrid 及 Tenaga Berhad Interconnector 微波系統之工作已完成並投入使用，此裝設雙碟型天線及波導提昇計畫用來加強系統安全度及可靠度。

2002 年 1 月 15 日，PowerGrid 網路管理部門之品質管理系統，由 BVQL 認可獲得 ISO 9001:2000 認證。

2002 年 1 月 18 日，PowerGrid 網路開發部門之品質管理系統，獲得 ISO 9001:2000 認證。

2002 年 8 月 20 日，SAC-SINGLAS 將 PowerGrid 之電錶測試實驗室由 ISO Guide 25 提昇至 ISO/IEC 17025 認可，關於實驗室管理之組織及品質，新標準採用全方法及較嚴厲之規定。

2003 年 1 月 1 日，新加坡新電力市場開放，PowerGrid 取單一輸電執照。

2003 年 10 月 8 日，PowerGrid Ltd 轉移它所有之業務包括資產，輸電執照，合約及協約書給 SP PowerAssets Ltd。同時，PowerGrid 所有員工(含管理階層)轉移至 SP PowerGrid Ltd。SP PowerGrid 與 SP PowerAssets 簽訂長期輸

電管理合約書，SP PowerGrid 負責管理及維護其輸配電網路，SP PowerAssets 則是領有輸電執照及擁有資產。

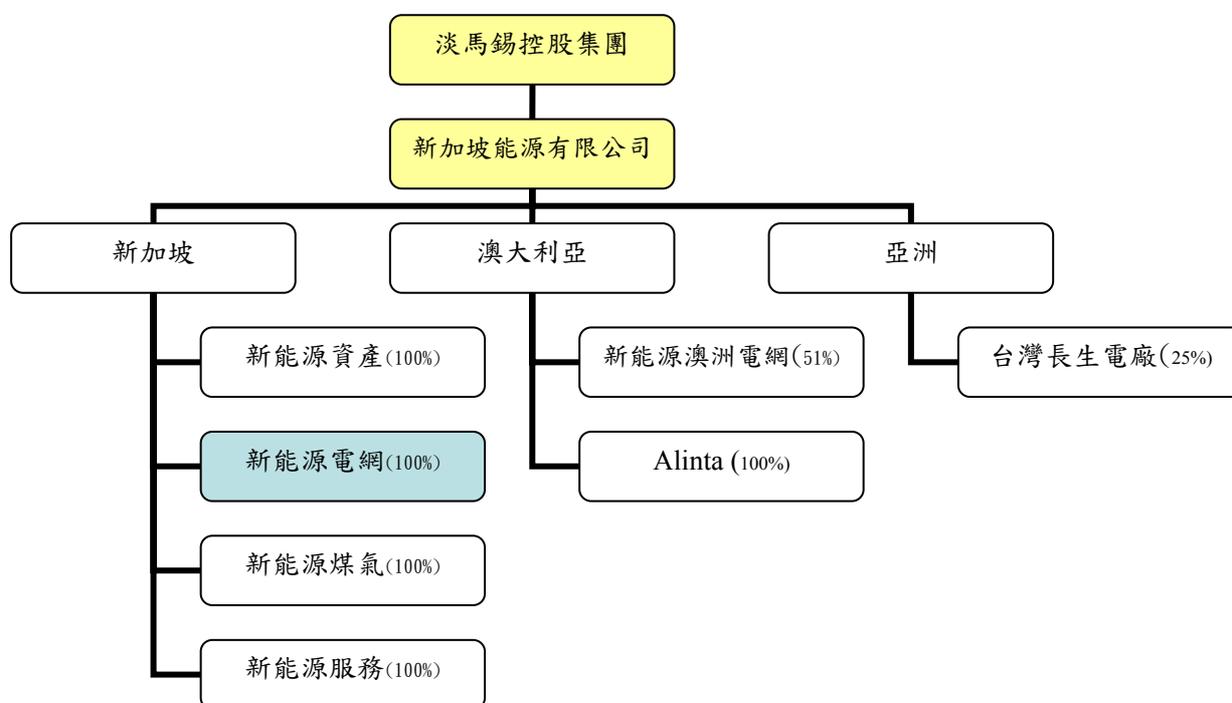


圖 4.1: 新加坡淡馬錫控股集團組織結構圖

4.2 系統規劃

SP PowerGrid 總裝置容量為 10,641MW，其中汽輪機組佔 44.2%，燃氣機組佔 4.6%，複循環機組佔 51.2%，至 2006 年之負載需求為 5624MW，1997 年至 2006 年平均成長率為 4.10%，預估 2007-2016 年為 4.12%，如圖 4.2 之電力需求。輸配電系統電壓等級，最高電壓 400kV，依次為 230/66/22/6.6kV，一般用戶電壓則為 400/230V。

新加坡之網路規劃，是在監管架構下獲取最大之經濟效益，如圖 4.3 之網路規劃路線圖，其中包括監管管理及網路規劃兩部份。新加坡因幅員不

大，其輸配電系統全面採用地下電纜，表 4.1 為輸配電所之各項設備總數，新加坡 230kV 以上輸電系統示意圖如圖 4.4。因輸配電工程均可如期如量完成，新加坡電力系統可完全符合 N-1 規劃準則，安全裕度充足，毫無供電困難，此亦為其電網績效卓著之根本原因之一。

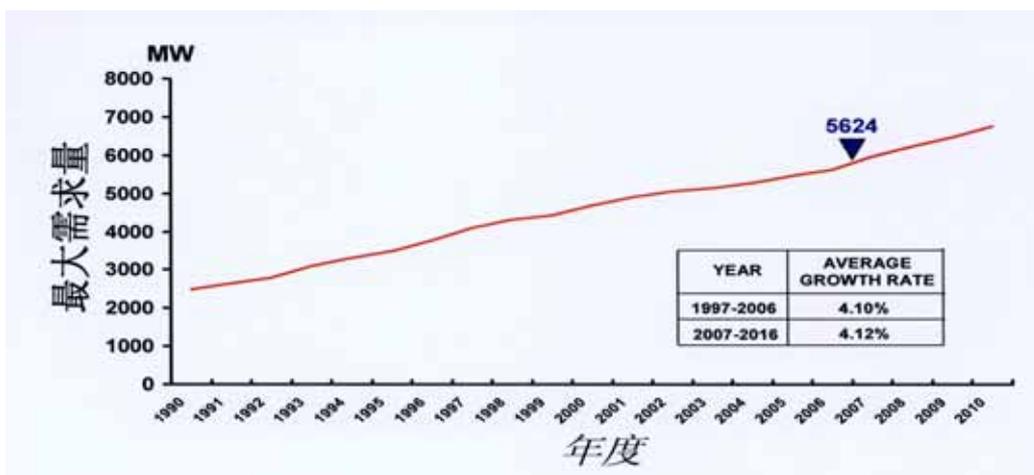


圖 4.2：新加坡電力需求

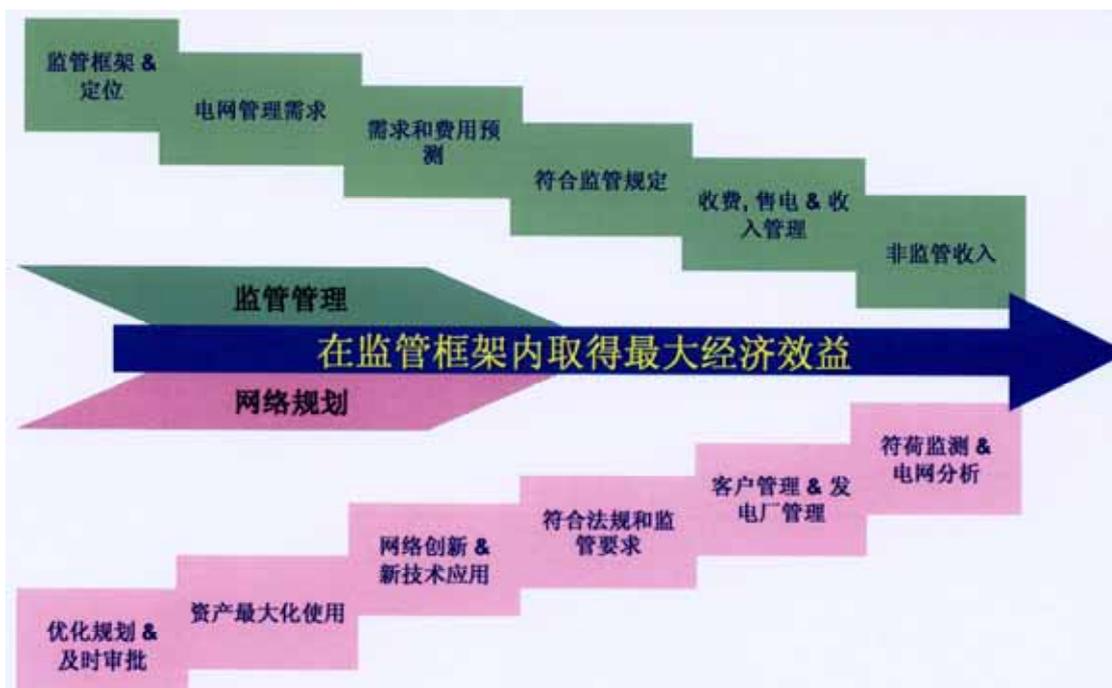


圖 4.3：輸電網路規劃路線圖

表 4.1：新加坡電網資產

至 2007 年 8 月

電網資產	變電所	開關	變壓器	電纜(公里)	電纜接頭
輸電變電所	99	1,547	316	6,029	23,944
配電變電所	9,594	37,285	13,514	22,982	290,278
總計	9,693	38,832	13,830	29,011	314,222

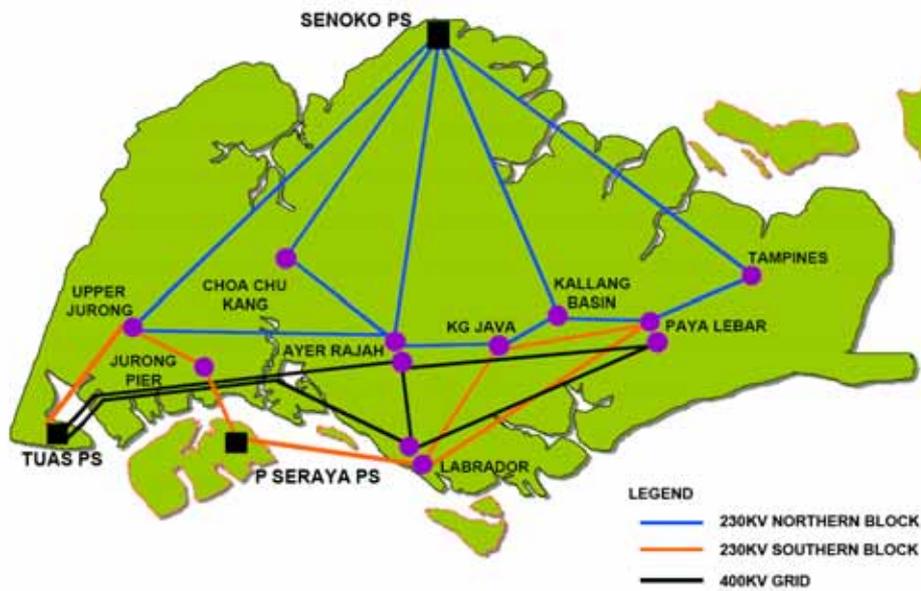


圖 4.4：400kV 及 230kV 輸電網路

4.3 運轉及維護

新加坡地理位置得天獨厚，少有重大天然災害侵襲且為完全地下電纜系統易於維護，在此情形下該公司提高營運績效的重點工作，自然就是減少設備原因所造成的事故影響。本段介紹輸電系統之設備狀態監測系統，電纜維修，及防止電纜被挖損之措施等。

4.3.1 設備狀態監測系統

新能源電網公司的設備狀態監測(Condition Monitoring)分成兩部份，主要元件(Primary Element)及次要元件(Secondary Element)之狀態監測。由於狀態監測實施效果極佳，除達成 2007 年零事故目標外，也產生顯著之經濟效益，如圖 4.5 所示。新能源電網公司的成功經驗已逐漸引起國際電業的重視，目前阿聯及中國上海及北京等電力公司已與該公司就此議題交流，並設法引進相關技術與管理經驗，此次出訪主要目的即在觀察學習該公司狀態監測與維護經驗與成功之道。

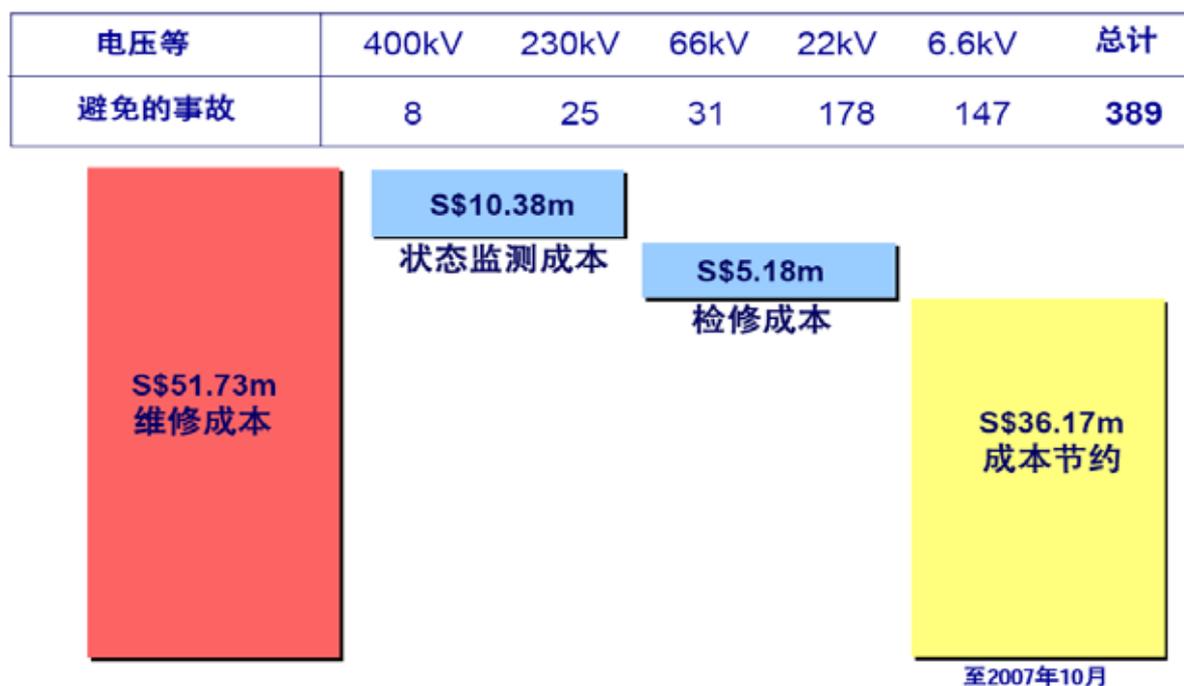


圖 4.5：狀態監測的經濟效益

4.3.1.1 主要元件狀態監測

針對電力系統主要元件，如電纜，變壓器，及斷路器等狀況的監測，主要監控項目如下：

- 部份放電偵測：分成不定期部份放電測試，實際使用測量儀器在設

備上量測設備有無部份放電，及實況部份放電監測，在電纜終端匣裝上感測器，接線送回控制中心實況監測。

- 六氟化硫 (SF6) 氣體壓力實況監測：使用搖控攝影機將現場 (SF6) 氣體壓力表指示狀況送回控制中心，以確實掌控 SF6 氣體壓力狀況。
- 充油電纜油壓實況監測：將充油電纜之止油接續匣及終端匣油壓接線送回控制中心，以確實掌控電纜油壓狀況。
- 設備溫度量測：對設備會產生異常熱點部分，使用紅外線測溫儀來量測溫度。
- 絕緣油氣體分析：將充油電纜及變壓器等設備之絕緣油抽取送試分析，來判定設備之狀況。將變壓器絕緣油取樣量測出來案例分析數據，如變壓器可燃性氣體含量過高時，可及時拆開處理避免事故之發生。
- 溫度分佈監測：使用溫控光纖來做溫度分佈監測，以了解設備實際溫度分佈狀況，若發生異常熱點，即可進行檢修。

4.3.1.2 次要元件狀態監測

對電力系統次要元件狀況，進行狀態監測，主要監控項目如下：

- 斷路器油壓系統監測：斷路器因操作次數較多時，會有油壓洩漏情形發生，因斷路器油壓不正常也常引起事故。
- 有載可動分接頭(OLTC)狀態監測：經由測知轉距及馬達電流可了解

OLTC 機械上問題，新能源電網公司已有裝設此一實況監測系統。

- 斷路器機械性能監測：斷路器機械性能可由量測彈簧充電馬達，閉合控制電驛及開啟控制電驛電流波形來判斷，新能源電網公司借此系統在斷路器投入及開啟時紀錄三種波形來評估此斷路狀況，以決定何時來維修。

4.3.2 電纜維修

新能源電網公司基本上對設備維護是依設備狀況來決定維修之週期，稱為狀態基準維護，該公司認為不當或過度維修設備也會造成事故。由於該公司全部為地下電纜線路，且為直埋式電纜。400kV 電纜全部為充油電纜，230kV 電纜約 90%為充油電纜，69kV 電纜約 90% XLPE 電纜，電纜維修項目如下。

4.3.2.1 電纜加入系統前之測試

電纜加入系統前測試與本公司相類似，電纜高壓測試，XLPE 電纜以 AC 來測試，OF 電纜以 DC 來測試，也對電纜被覆進行絕緣測試。

- 電纜巡視：新能源電網公司之電纜為直埋式電纜，較容易因道路施工而有所損害，故輸電電纜路徑巡視每天均巡視一次，巡視方式以汽車或摩托車來巡視，主要巡視項目是查看電纜路徑上是否有道路施工。
- 電纜點檢及測試：因電纜為直埋式，故基本上電纜沒有點檢工作，

至於測試只有每 5 年做 1 次電纜被覆測試。

- 電纜事故搶修：新能源電網公司電纜事故搶修原則上是自己員工來搶修，該公司相當重視搶修工作，故對電纜搶修人力訓練也費很多心力；電纜新建時大多外包，其中保留一部份如 10%由受訓後員工來施工(由技師指導)。對電纜備料問題，該公司是不計成本備料；66kV(含)以下電纜均有統一規範，不同廠牌電纜可互相挪用，可以較少備料。230kV 及 400kV 電纜無統一規範，各廠牌電纜，接續匣及終端匣均有備料。

4.3.3 防止電纜被挖損之措施

因新能源電網公司地下電纜為直埋式電纜，較容易被挖損；一則因直埋式電纜沒有混凝土及塑膠管保護，時間一久，有些工地挖出之電纜，是為送電中電纜或報廢電纜較難分別。所以該公司使用很多人力來防止電纜被挖損。但該公司每年還是發生不少電纜被挖損事故；輸電電纜被挖損事故平均每年約 3 次，配電電纜被挖損事故平均每年約 25 次。

- 電纜巡視：輸電電纜每天巡視一次，並提供郵差發現新道路上施工工地，報給新能源電網公司每件 10 元新幣。
- 建立地下電纜圖資系統：提供給施工單位規劃避開或施工上注意。
- 辦理試挖：試挖出電纜位置以確實了解電纜實際位置，避免電纜被挖損。

- 現場豎立警示牌：利用電纜路徑探測器測出大約位置，並豎立警示牌，以提醒施工人員注意。
- 派員監視：在較有可能發生電纜被挖損工地派員監視。
- 邀請施工人員宣導或訓練：邀請施工工地負責人及機械操作手接受宣導或訓練。受訓後新加坡電網公司發合格工作証給受訓合格人員。
- 現場被挖出電纜做適當保護，防止電纜被外物或外力損傷。
- 立法規範施工及違規處罰條款：在新加坡要在道路上施工除工地負責人(或監工)外，需有一位纜線位置測試人員(該員有測試證照)，在施工前先測試出所要施工位置是否有纜線經過，新加坡並定有違規處罰條款來處罰違規引起事故施工廠商。

4.4 專家系統

新能源電網公司建構新能源電網城域網(Metropolitan Area Network, MAN)，採用傳輸速率高達 1 Giga bit 的光纖，以滿足高頻寬容量需求，作為該公司的核心網路，將位於新加坡城市內不同地點的 400 及 230kV 變電所的監測(察)系統主機、數據庫，以及 LAN 等互相聯接起來，建立一套新能源電網線上監控系統，如圖 4.6 所示。



圖 4.6：新能源電網線上監控系統

新能源電網線上監控系統主要包含有：

- 電纜油溫線上監測系統；
- 電纜油壓線上監測系統；
- 電纜溫度線上監測系統：為一光纖分布式溫度偵測系統(Distributed Temperature Sensing, DTS)，結合一有限元分析模型發展成電纜動態額定系統(Dynamic Rating System, DRS)精確決定緊急額定值、熱點定位、電纜沿線溫度輪廓。
- 移動式視像監察系統；概觀示意圖如圖 4.7。綜合保安運行監督系統；
- 局部放電監測系統；
- 液壓監視系統：線上監視斷路器液壓機構及變壓器 OLTC 機構，整合企業網路、應用軟體、資料蒐集硬體，自動透過簡訊(SMS)通知維修人員

異常現象。

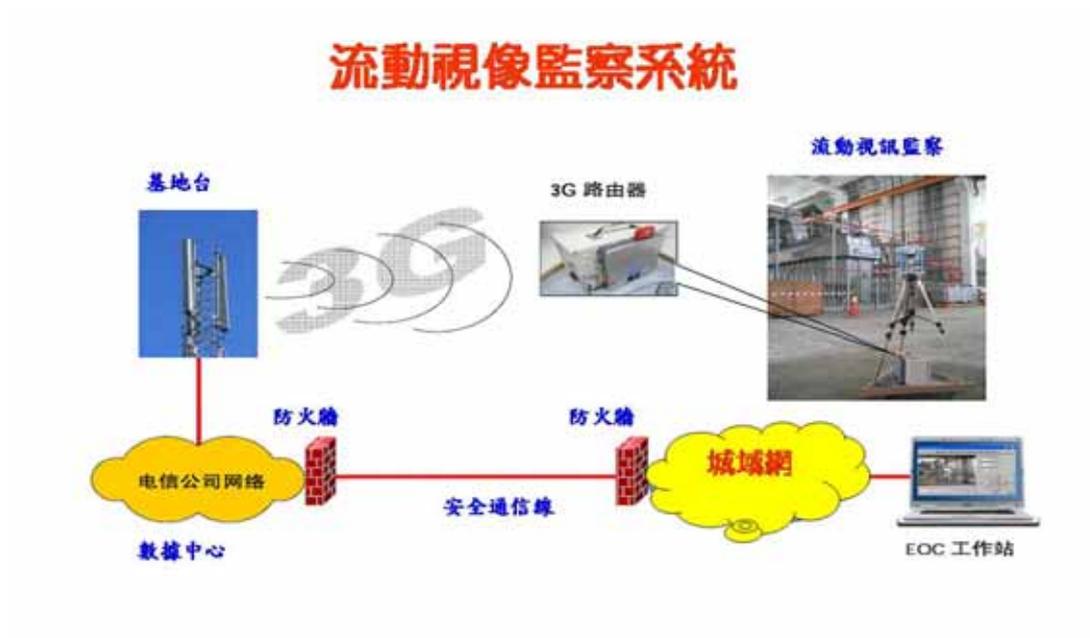


圖 4.6：新能源移動式視像監察系統

- 多媒體視訊會議系統：可在不同地點進行視訊會議、對區域辦公室廣播、及總公司與各地區指揮中心視訊會議。其信息示意圖如圖 4.8：



圖 4.8：多媒體視訊會議系統

- 其他

此線上監控系統可利用 GATEWAY 連接至緊急應變中心(Emergency Operation Center, EOC)、其他辦公室與維修中心之工作站，進行監控(視)或多媒體視訊會議。

各維修中心利用此系統遠端監測，如系統設備發生異常現象，維修人員可下載資料，由專家診斷分析，做出決策，派員維修、更換設備。各維修中心也可利用綜合保安和運行監督系統，進行變電所遠端監看設備事故現況，準備材料、搶修器具，及派遣適當人員，縮短修復時間。

此外，流動視像監察系統類似電視公司之 SNG，可在事故現場架設，將現場實況轉播至維修中心，讓主管及其他專家可即時掌握搶修現況及提出協助意見，儘速完成搶修工作。

茲舉電纜油壓線上監測系統說明如下：

此系統係採用最新的信息技術，線上監測 400/230kV 充油電纜之油壓，有效提昇運作效率。其傳輸信息用之光纖，在電纜鋪設時即一併敷設，如圖 4.9。



圖 4.9：光纖與電纜同時電纜鋪設

■ 各監測點裝置遠程終端機如圖 4.10：



圖 4.10：遠程終端機

- 各終端機信息單線圖如圖 4.11：



圖 4.11：終端機信息單線圖

- 監測信息系統概觀圖如圖 4.11：

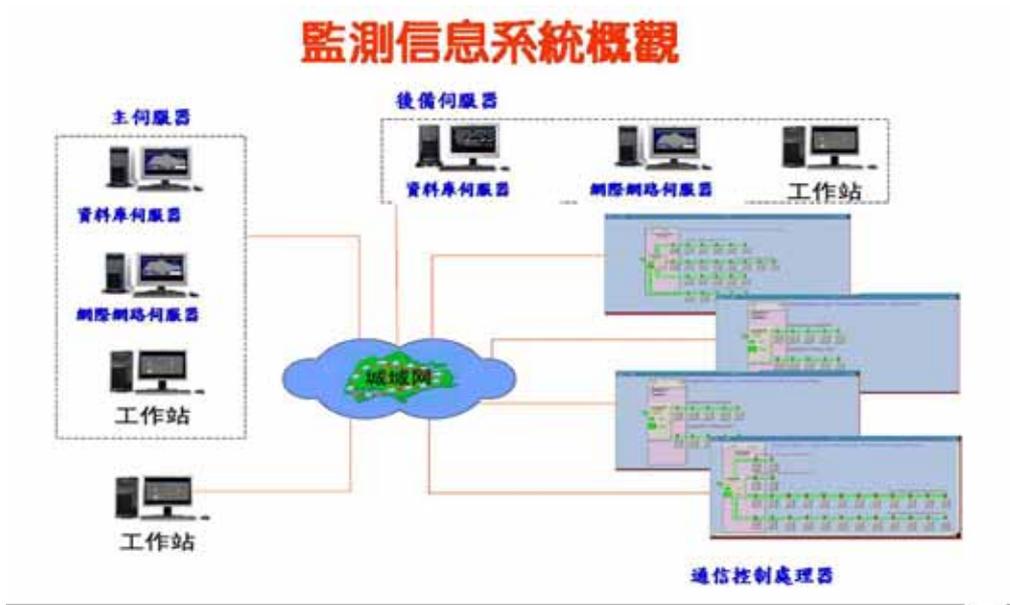


圖 4.11：監測信息系統概觀圖

第 5 章 新加坡電力系統調度中心

本章介紹能源市場管制局之職掌及其組織，概稱電力系統控制中心之運作情況。

5.1 能源市場管制局職掌

新加坡能源市場管制局(EMA)成立於 2001 年，從事鍛造一個健康競爭下茁壯之安全長遠能源工業。建立新的電力市場架構，提倡電業公平競爭。2003 年 1 月新加坡新國家電力市場(National Electricity Market of Singapore, NEMS)正式運作。EMA 擔負起電力監管及系統調度(System Operator)之業務，電力批發市場業務則另與紐西蘭 M-co 公司合資成立之能源市場公司(EMC)負責，以確保能源工業內公平競爭環境，達成用戶成本競爭成果。

5.2 能源市場管制局組織

新加坡能源市場管制局設有能源政策與規劃組(Energy Policy & Planning Division)，電力調度組(Power System Operation Division)，管制組(Regulation Division)，及秘書組(Corporate Services Division)等四組，其中之電力調度組(PSOD)負責電力系統操作及系統安全，類似歐美電業自由化國家之電力調度中心(ISO)之功能。

電力調度組(PSOD)下設有：

- 系統控制課(System Control Dept.)：負責監控操作輸電

系統(66kV, 230kV, 400kV 系統)、發電調度(根據 EMC 發電市場競標排程)及監視瓦斯輸送系統。

- 系統穩定度與規劃課(System Stability and Planning Dept.): 負責電力系統安全度、穩定度、及可靠度之整體評估工作, 包括電力系統發電與輸電執照擴充計畫以及瓦斯輸送系統之衝擊檢討。
- 能源管理系統課(Energy Management System Dept.): 負責作為發電與輸電網路監控及提供瓦斯輸送系統即時資訊之能源管理系統(EMS)的運轉。同時提供本組資訊支援工作。
- 管理課(Administration Dept.): 處理本組所有行政業務。

5.3 電力系統控制中心簡介

- 系統控制課之電力系統控制中心(Power System Control Center, PSCC)從事每天 24 小時, 每週 7 天監控、指令新加坡全國發電及輸電業務, 同時監視新加坡瓦斯輸送系統, 作為電力系統安全、可靠運轉之守護者。確保電廠發出之大量電力安全、可靠地輸送至負載中心。(新加坡 2007/10/1-7 週負載曲線、230/400kV 輸電系統圖及分別如圖 5.1 所示)

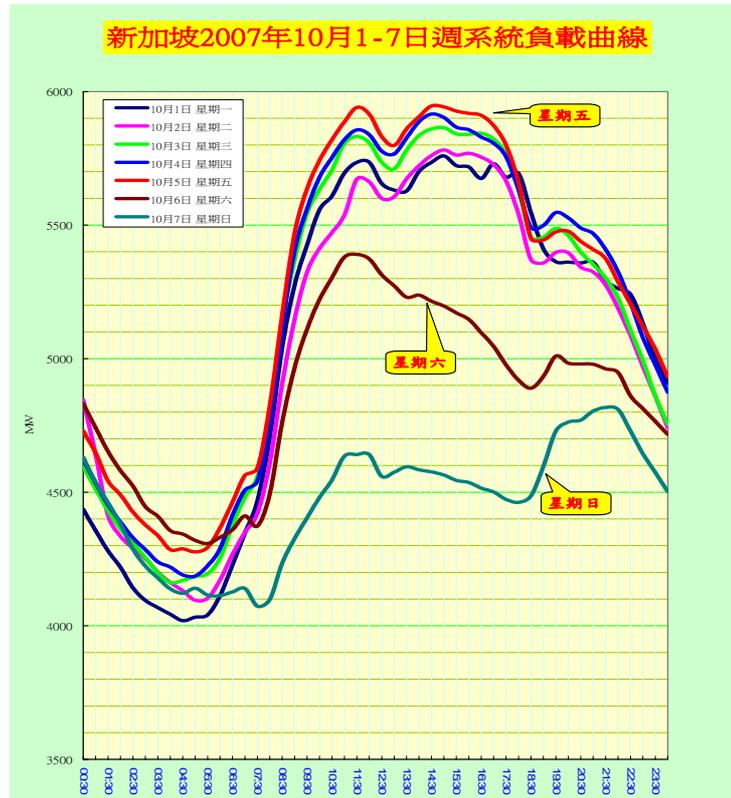


圖 5.1 : 2007/10/1-7 週負載曲線

- 控制中心裝置最新技術之能源管理系統。裝設一套由 60 個 LCD 後投顯示器組成之四米高，21 米寬的即時資訊顯示銀幕(如圖 5.2 所示)：



圖 5.2 : 能源管理系統

顯示電力與瓦斯輸送系統即時狀態、各發電機組出力值，以及系統總負載、系統頻率、系統備轉容量、及輸電線之電力潮流等重要的即時資訊。

本中心設有六班調度值班人力，每班五員，分別為值班經理、電源調度員、網路調度員、瓦斯輸送監督員及電力市場聯繫員負責與 EMC 聯繫事宜。另設置有調度員訓練中心(DTS)，調度員每年需定期接受訓練。本控制中心之配置為兩層樓挑高格局(如圖 5.3 所示)：



圖 5.3：控制中心

左側顯示幕為兩層樓挑高，右側二樓則為參觀走廊及簡報室。參觀走廊之玻璃為一高科技產品，平時為不透明玻璃(如圖 5.4)，在來賓聽過簡報後，按下電鈕，不透明玻璃自動變為

透明，來賓立即可從二樓往下清楚看到控制中心一切情景，不致打擾值班人員。



圖 5.4：參觀走廊之玻璃

本中心係設置於 PowerGrid 公司 400/230KV 變電所內，與該公司之配電調度中心 (Distribution Control Center, DCC)、電力服務中心 (Electricity Service Center, ESC) 之 Call Center、及巡修中心共構。四周圍籬設有高壓電防護措施，大門口配置警哨武裝保全人員 24 小時執勤，並設有車底攝影機，監視車輛進出，門禁管制非常嚴格。

此外，距離本中心約五公里處之另一超高壓變電所(如圖 5.5)內設置有後衛控制中心，平常未置值班人員，緊急時人員進駐。2002 年 SARS 流行期間調度人員分成兩組分別在主控

制中心及後衛控制中心值班，兩組人員不相互接觸，以降低染 SARS 風險。



圖 5.5：超高壓變電所

- 本中心所使用之 EMS 係一先進技術的即時系統，協助調度員監控新加坡輸電網路與發電，為一分散型電腦系統，允許執行各項功能。

EMS 利用裝設在發電廠、變電所、及輸電線的設備所監視取得之相關資訊，支援系統調度員運轉調度控制工作。電力系統設備發生異常情況或誤動作，立即被偵測到並傳送回到控制中心，做為分析並採取應變措施。調度員也密切監視所有上線發電機組容量，備妥應變任何發電機組跳脫之備轉容量，以確保發電必須時時刻刻滿足變動的電力需求。

EMS 的主要功能係自動發電控制(Automatic Generation Control, AGC)，讓調度員控制並連在系統上的各類發電機

組，滿足每日用電需求。AGC 監視電力需量並控制各部機組出力，以匹配其需量電力。

負載預測係 EMS 另一重要功能。此功能每日預測負載，提供未來 14 天每半小時平均系統負載。此外，也不斷按每半小時機制提供下 7 小時之更新預測負載。本中心另使用之瓦斯監視系統(Gas Monitoring System, GMS)，也是一先進技術的多重分散型電腦系統，此系統與新加坡瓦斯公司(PowerGas)、瓦斯系統操作中心及岸邊接收站的監視控制與資料蒐集系統(SCADA: Supervisory Control & Data Acquisition)有介面聯繫，接收天然瓦斯系統之即時資訊，包括開關閥狀態、瓦斯壓力、及其他相關量值，協助調度員維護電力系統之可靠與安全運轉。

參、結論與建議

此次赴新加坡訪問行程雖短，收獲卻異常豐富，為台灣及新加坡兩國電力交流奠定良好基石，並有如下之結論與及建議。

本公司與新加坡新能源電網股份有限公司雙方於96年8月1日簽署合作備忘錄，效期5年，以加強輸電服務供應之資訊交換與人員互訪，本次出訪係雙方簽署後首次進行合作交往，意義重大並有重大實質進展，圓滿完成任務。

新加坡為自由競爭電力市場，新能源電網公司受託於新能源資產公司負責輸配電網路之營運與資產管理，營運績效名列世界前茅，究其成功之道在於能有效結合生產管理與企業管理，強調以電網表現為中心的知識管理，並具體落實於日常狀態監測與狀態維修工作上，發揮最大創意價值。細言之有下列成功關鍵因素：

1. 驅動力量明確
2. 政策堅定連貫
3. 觀念執行並重
4. 完善數據管理
5. 創造良性循環

新加坡和我國均以華人社會為主體，兩地語言文化相似，本公司狀態監測已有相當基礎，唯可再加強建構完善狀態維修體系，精進結合資訊與

通信技術和激勵同仁自信與經驗累積，其中可師法借鏡新加坡作法之處有：

1. 增訂正面指標，深化事故避免。
2. 反饋維修體系，質變日常維護。
3. 引進線上監測，累積自主經驗。
4. 整合數據管理，奠基智慧電網。

新能源電網公司建構該公司之城域網(MAN)，採用高速(1 Giga Bit)光纖，作為公司核心網路，將公司各地監測、保安、視訊會議系統結合在一起，建立一套電網線上監控系統，提供散佈在各地維修中心及總公司相關單位專家即時擷取現場資料及檢視過去紀錄，擬定搶修或維護策略，對工作效率提高頗有成效，值得本公司學習效法。

能源市場管制局之電力系統控制中心控制室配置採兩層樓挑高格局，後投式顯示幕為兩層樓挑高，調度員後上方二樓為簡報室兼外賓參觀走廊，並設置透明與不透明可變化之高科技液晶玻璃，不打擾值班人員之設計，值得本公司未來新建中央調度中心設計之參考。

控制中心引進新加坡瓦斯公司輸送管線、開關閥等即時監視資訊，協助調度員維持電力系統供應之可靠，本公司 LNG 發電佔比日漸增高，可比照新加坡作法，請中油公司提供類似資訊，以供調度員參考，以便做即時應變，提高供電安全。

此次訪問，公司當局及各單位相當重視，返國後出國人員張處長應邀

於 96 年 12 月 14 日至供電系統經營決策會議上報告此行見聞與觀察心得，李副總經理肖宗指示下列三點：

1. 張處長的報告整理的非常有系統、非常好，值得大家參考。其中諸多關鍵字，例如「資產管理」、「狀態維護」、「狀態監測」、「智慧電網」等都表示這些東西別人已經在做，前車之鑑，值得借境。
2. 張處長的簡報另會在下週二本公司經營決策會議中對公司領導階層報告，會請供電處參加，屆時上級關心與可能會詢及的問題，請供電處預為準備。
3. 新加坡電力系統規模小、設備單純(無架空線路)、電力設備餘裕高，完全符合 N-1 準則，不必停電即可進行維護或施工，但其管理、維護、敬業精神，確實值得借境，請供電處李副處長拜訪工業局，請求透過台、新雙方工業合作協定(ICP)重大標購承諾，邀請該國新能源電網公司來台，給同仁講習、提供諮詢，所需經費希望從 ICP 額度支應；可能的話，也可以利用 ICP 額度，安排供電與業務系統的第一線同仁到新國研習，相信對本公司以時間序列經營電網的傳統管理方式是否符合世界潮流，可以有新的啟發。

本次訪問心得於返國後，先由李副總經理肖宗於 96 年 12 月 4 日於本公司經營決策會議提出口頭報告，並於 96 年 12 月 18 日安排張處長以新加坡電網資產管理與狀態維護為題，至本公司經營決策會議做詳細說明，董

事長據此指示四項後續辦理事項，已由相關部門積極推動之中。新加坡新
能源電網公司曾瑞棠副董事經理等3人亦於97年1月16-17日回訪本公司，
親向本公司相關單位介紹該公司之網路管理理念及狀態監測心得，雙方並
進一步洽商技術服務相關細節，本公司將以供電處為聯繫窗口，積極展開
後續訓練交流事宜。