

出國報告（出國類別：實習）

地下式及地面式歐洲筒型煤倉
（Eurosilos）之建造技術及運作維護情形
暨參訪德國 Niederaussem 電廠

服務機關：台灣電力公司

姓名：鄭慶鴻

職稱：一般工程師

姓名代號：064396

派赴國家：荷蘭、芬蘭、德國

出國期間：95年7月17日至95年7月28日

報告日期：95年9月21日

出國報告審核表

出國報告名稱：地下式及地面式歐洲筒型煤倉（Eurosilos）之建造技術及運作維護情形暨參訪德國 Niederaussem 電廠		
出國人姓名	職稱	服務單位
鄭慶鴻	一般工程師	台灣電力公司電源開發處
出國期間：95 年 07 月 17 日至 95 年 07 月 28 日		報告繳交日期：95 年 09 月 21 日
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2. 格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input type="checkbox"/> 3. 內容充實完備。 <input type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5. 送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7. 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 <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 type="checkbox"/> 8. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同人進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9. 其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分 _____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 2. 退回補正，原因： _____ <input type="checkbox"/> 3. 其他處理意見：	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、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。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

	單位	主管處	總經理
報告人：	主管：	主管：	副總經理：

台灣電力公司出國實習人員返國座談會執行情形報告表

應用 95 年度出國計劃第 65 號

座談會	時間	95 年 8 月 17 日 上午 9 時			地點	總管理處 2202 會議室
	參加對象	發電處：俞雷雨、高廷憲、戴俊輝、吳慶璋 核能火力發電工程處：張宗琦、林衍森、黃東源、成松雄 電源開發處：余處長勝雄、王副處長惠生、王振裕、吳明竑、王端正、 廖鴻徽、蕭凱宇、鄭慶鴻				
報告人	單位	電源開發處	職位名稱	成本分析員	姓名代號	鄭慶鴻 064396
	任務內容	地下式及地面式歐洲筒型煤倉 (Eurosilos) 之建造技術及運作維護情形 暨參訪德國 Niederaussem 電廠				
	出國期間	自 95 年 7 月 17 日至 95 年 7 月 28 日合計 12 日				
報告主要內容	<p>一、報告內容包括：出國緣由、出國行程、Eurosilos 介紹、芬蘭 Salmisaari 電廠與德國 Tiefstack 電廠 Eurosilos 之建造及運維經驗介紹、結論與建議。</p> <p>二、由於近年來環保意識抬頭，故本公司新興燃煤計畫皆已採用密閉式之室內煤倉。其中筒狀煤倉(silo)具有較大之單位面積儲煤量，且有助於防止、抑制煤炭自燃現象，故林口、深澳、大林計畫皆規劃採用 silo。筒狀煤倉主要分為日本系統之「先進先出」煤倉，以及「先進後出」之歐洲煤倉(Eurosilos)。Eurosilos 系統因採「先進後出」方式儲煤，致有煤炭自燃及煤倉底部煤炭可能需長期貯於倉內等疑慮，故過去均未納入考量。</p> <p>三、ESI 公司擁有 Eurosilos 之專利，該公司分別於 1995 年於德國 Tiefstack 電廠及 2004 年於芬蘭 Salmisaari 電廠，完成 2 座容量各 5 萬立方米及 6.25 萬立方米之 Eurosilos。該二廠各發生一次自燃現象，惟據煤運人員表示，該兩次自燃現象均屬人為因素，可事先預防，且可藉由防火膠及氮氣，以抑制自燃。此外，因煤炭不具黏滯性，依電廠營運經驗，尚未發生底煤硬化之情事。</p> <p>四、該二電廠在 Eurosilos 營運上之困擾主要在於 Telescopic Chute 部分曾因縫隙較小而發生卡煤現象，該問題經 ESI 公司變更設計並更換新品後，已獲得解決。</p> <p>五、綜上，本公司過去對於 Eurosilos 之可能疑慮已初步獲得澄清，儲煤量實績已達 5~6.25 萬噸，他國營運經驗亦堪稱順利，爰建議未來筒狀煤倉之規劃，可將日本系統與 Eurosilos 併同納入考量。</p>					
參加人員會審意見	<p>一、發電處：</p> <p>(一) 本公司未來採購之亞煙煤為數甚多，該煤種具有較高之黏滯性。如依 Eurosilos 之設計，以底部振動之方式出煤，則可能因煤塊堵塞而造成「架橋」之現象，未來如將 Eurosilos 納入考量，則應要求 ESI 公司針對架橋現象提出預防及解決對策。</p> <p>(二) Telescopic Chute 需配合煤倉之運作而不停伸縮，應注意其磨耗問題。</p> <p>二、核火工處：</p>					

	<p>(一) 依報告內容，Eurosilos 應可納入評估考量，惟相關備品之數量可考量一併納入採購範圍。相關細節仍需再由各單位多加協商討論。</p> <p>三、開發處：</p> <p>(一) 依目前所取得之資料，Eurosilos 確為一可行之儲煤設施方案，惟就設備維護費用而言，似仍可再進一步由顧問公司代為蒐集，以做為可行性研究之規劃參考。</p> <p>(二) Eurosilos 與日本型式之 silo 各有其優劣，且對於煤炭自燃現象皆有完善之預防及抑制措施，惟二種煤倉皆屬專利設計，應可於可行性研究階段併同考量，藉由引進競爭機制，為公司創造較高之經濟效益，俟細部設計階段再予詳細評比。</p>
單位主管評審意見	<p>一、本報告建議將 Eurosilos 納入考量應為可行，惟各項設備主要之考量重點還是在於投資與運轉維護成本，尤其是取、出煤之螺形鑽設備 (Auger) 應係維護成本之要項，應多加蒐集相關資料，俾納入規劃參考。</p> <p>二、於工程細部設計時，有關煤倉採購規範之訂定，應再詳以討論，尤應注意關鍵零組件之備品數目，並應針對發電處所關切之「煤炭架橋現象」詳加探討其預防及因應對策。</p>
備註	<ol style="list-style-type: none"> 1. 出國考察實習進修人員均應於返國一個月內由其服務單位召開座談會，並由出國人員提出口頭報告。 2. 座談會主持人由單位主管擔任，參加對象由單位主管視實際需要指派。 3. 座談會結束後三日內應填具本表陳報副總經理核定後影印一份送人事備查。

製表：

直接主管：

單位主管：

副總經理：

目 次

壹、 出國緣由	02
貳、 出國行程	03
參、 Eurosilo 介紹	04
一、 本次參訪重點	04
二、 Eurosilo 設備及運作原理介紹	04
三、 芬蘭 Salmisaari 電廠之 Eurosilo 煤倉	15
四、 德國 Tiefstack 電廠之 Eurosilo 煤倉	23
肆、 德國 Niederaussem 電廠介紹	29
伍、 心得與結論	38
陸、 建議	41

壹、出國緣由

本公司以往儲煤方式以室外煤場為主，惟近年來環保意識抬頭，新興燃煤發電計畫之儲煤方式皆已改採密閉式之室內煤倉。

室內煤倉主要種類有以下三種：

- 一、 棚式煤倉 (A-Frame)
- 二、 圓頂煤倉 (Dome)
- 三、 筒狀煤倉 (Silo)

其中筒狀煤倉(silo)具較大之單位面積儲煤量，且對於煤炭自燃現象的防止及抑制較具良好效果，故本公司近年來之新興計畫如林口、深澳、大林電廠更新改建計畫皆已規劃採用 silo。

筒狀煤倉主要分為日本系統之「先進先出」煤倉，以及「先進後出」之歐洲煤倉(Eurosilo)，本公司林口、深澳、大林計畫均規劃採用「先進先出」煤倉，總高度約 72 公尺（包括頂蓋高度 22 公尺）。考量 Eurosilo 系統於歐、美均有實績，亦有其優越性，爰赴歐洲見習其相關經驗。

本出國計畫主要係拜訪位於荷蘭之 Eurosilo 公司，並赴該公司近年來最具代表性，位於芬蘭 Salmisaari 電廠之 4 座地下式煤倉，以及位於德國漢堡之 Tiefstack 電廠的 2 座地面式煤倉。

此外，由於本公司新興燃煤計畫均採用超臨界燃煤壓力鍋爐，而德國 RWE 電力公司利用其位於萊茵河流域之豐富褐煤礦 (Lignite)，於杜賽道爾夫與科隆之間設有一系列電廠，其中 Niederaussem 電廠之第 K 機組於 2003 年完成，係一 100 萬瓩級之超臨界壓力塔式鍋爐，可作為本公司規劃機組之參考。爰擬於參訪 Eurosilo 行程結束後，赴該電廠見習。

貳、出國行程

7月17~18日(星期一、二)

往程(台北→荷蘭 阿姆斯特丹)

7月19日(星期三)

赴 Eurosil 公司見習其煤倉建造技術

7月20日(星期四)

移動日(荷蘭 阿姆斯特丹→芬蘭 赫爾辛基)

7月21日(星期五)

赴 Salmisaari 電廠見習煤倉建造及運維經驗

7月22日(星期六)

例假日

7月23日(星期日)

移動日(芬蘭 赫爾辛基→德國 漢堡)

7月24日(星期一)

赴 Tiefstack 電廠見習煤倉建造及運維經驗

7月25日(星期二)

移動日(德國 漢堡→德國 杜賽道爾夫)

7月26日(星期三)

赴 Niederaussem 電廠見習超臨界機組建造及運維經驗

7月27~28日(星期四、五)

返程(德國→台北)

參、Eurosilos 介紹

一、本次參訪重點

依據本公司過往在評估燃煤供應系統時主要考量之各項因素，本次參訪重點擬訂如下，並將於本報告中逐一說明。

- (一) 儲煤容量
- (二) 存放亞煙煤之經驗
- (三) 煤炭自燃之防止與應變措施
- (四) 單一煤倉存放多種燃煤之可能性
- (五) 拌煤系統
- (六) 營運期間之經驗與曾發生之困難
- (七) 煤炭「先進後出」可能之疑慮
- (八) 建造及維護成本
- (九) 與日本「先進先出」系統之比較

二、Eurosilos 設備及運作原理介紹

(一) ESI 公司簡介

ESI 公司位於荷蘭阿姆斯特丹北方近郊的 Pumerend，於 1965 年創立。Eurosilos 係 ESI 公司所擁有之專利名稱，為一概念性之設計，利用設計精密之機械設備，將物料由筒狀儲槽之上方進倉，並均勻地佈設於底部，並以螺旋錐取料，經由儲槽下方出料。

Eurosilos 可用於貯存石膏、煤炭、馬鈴薯澱粉及其他散雜物

料，該公司對於處理具黏滯性之物料（如石膏）極具信心，其建造實績亦以石膏儲倉為多。至於煤倉部分，該公司於1981年在德國建造2座小型煤倉，後於1995在德國漢堡興建2座儲煤容量各5萬立方公尺之煤倉；於2000年在美國興建2座容量各2.55萬立方公尺之褐煤儲倉；目前該公司最具代表性之煤倉為2004年完成之4座容量各6.25萬立方公尺之地下式煤倉。

該公司歷年之實績如下（所列年份係最後一座儲倉完工驗收之日期）：

NO.	YEAR	STORAGE m ³	INFEED t/h	OUTFEED t/h	COMMODITY	LOCATION
101	2007	3,600	35	150	FGD Gypsum	Tejo, PEGO Power Plant, Portugal
100	2007	6,800	50	200-400	FGD Gypsum	EDP, Sines Power Plant, Portugal
99	2007	1,950	20	150	FGD Gypsum	La Snet, Gardanne Power Plant, Meyreuil - France
98	2006	1,950	20	150	FGD Gypsum	La Snet, Emile Huchet Power Plant, St. Avoird - France
97	2005	12,000	60	400	FGD Gypsum	Power Seraya LTD, Pulau Seraya Power Station, Singapore
96	2004	6,000	100	400	FGD Gypsum	British Energy, Eggborough Power Plant, England
95	2004	1,285	15	150	FGD Gypsum	TEPCO, Hirono Power Plant, Japan
94	2003	350	10	75	FGD Gypsum	UBE, IPP, Japan
93	2002	3,200	50	600	FGD Gypsum	TEPCO, Hitachinaka Power Plant, Japan
89/90/ 91/92	2005	4 x 62,500	1500	500	Steam Coal	Helsinki Energy, Salmisaari Power Plant, Finland
87/88	2001	2 x 40,000	100	200-400	Ammonium Sulphate	HCC, Ulsan, Korea
86	2001	4,000	50	750	FGD Gypsum	Power Pl. Tachibana-Bay No. 2, Japan
84/85	2001	1 x 15,200 1 x 8,500	15 15	15/25 15/25	Potato Starch	Shihoro Starch Factory, Hokkaido, Japan
83	2001	7,875	300-800	300	Raw Kieserite	Kali & Salz, Sigmundshall, Germany
82	2000	15,500	20	40	Potato Starch	Minami Tokachi II, Hokkaido, Japan
81	2000	15,500	15	15	Potato Starch	Tobu-Tokachi, Hokkaido, Japan

NO.	YEAR	STORAGE m ³	INFEED t/h	OUTFEED t/h	COMMODITY	LOCATION
80	2000	4,000	50	750	FGD Gypsum	Power Pl. Tachibana-Bay No. 1, Japan
79	2000	1,100	50	100	FGD Gypsum	Florina Power Station, Greece
78	2000	1,440	25	150	FGD Gypsum	Ho-Ping Power Station, Taiwan
77	2000	1,500	400	400	FGD Gypsum	Lippendorf, VEAG, Germany
76	1999	21,000	30	40	Potato Starch	Naka-Shari, Starch Factory, Japan
74/75	2000	2x25,500	1500	750	Lignite	Generation Facility, Ackerman, USA (MS)
73	1999	5,000	40	350	FGD Gypsum	Power Pl. Lamma Island, HEC, Hongkong
72	1998	21,000	30	40	Potato Starch	Bihoro, Starch Factory, Japan
71	1999	9,500	50	300	FGD Gypsum	Power Pl., Laziska, Poland
70	1998	16,500	300	300	Limestone	Power Pl., Polaniec, Poland
69	1998	14,000	40-100	300	FGD Gypsum	Power Pl., Polaniec, Poland
68	1998	3,500	25	150	FGD Gypsum	Power Pl., Vodskov, I/S Nordjyllandsværket, Denmark
67	1998	50,000	500	500	Steam Coal	Power Pl., Tiefstack, HEW, Germany
66	1996	15,000	50	50	Potato Starch	Minami-Tokachi, Hokkaido, Japan
65	1996	50,000	500	500	Steam Coal	Power Pl., Tiefstack, HEW, Germany
64	1996	1,250	15	100	FGD Gypsum	Power Pl. Mumsdorf, MIBRAG, Germany
63	1996	1,030	15	100-250	FGD Gypsum	Power Pl. Deuben, MIBRAG, Germany

該公司所興建之單一煤倉最大儲煤容量實績約在 6.25 萬立方公尺，以煤炭 0.8 噸/立方公尺之密度計算，約為 5 萬噸。惟據該公司表示，因煤炭自重之壓實，整倉平均密度均可達 0.9~1.0 噸/立方公尺，故最大儲煤量實績應可達 6.25 萬噸。

依該公司之設計，儲煤量可自 1 千立方米至 10 萬立方米，依該公司目前正投標某歐洲電力公司之煤倉計畫，儲煤容量將高達 11 萬噸，其直徑約 62.5 公尺，高約 56 公尺。

該公司於荷蘭總部之員工人數約 20 人，雖亦有中國之代理商，惟依該公司經驗，在中國環保概念未抬頭，以及人力成本低廉之情形下，Silo 之推動似乎困難重重。而近來歐洲對於環保之要求逐漸提高，用地面積寶貴、取得不易，在燃煤發電方興未艾的當下，歐洲對於 Eurosilos 之需求似乎又逐漸增加，主要在於儲放 FGD 所產生之石膏及煤炭。我國和平電廠之 FGD 石膏倉即係由該公司所建造。

(二) 進料、佈料及出料

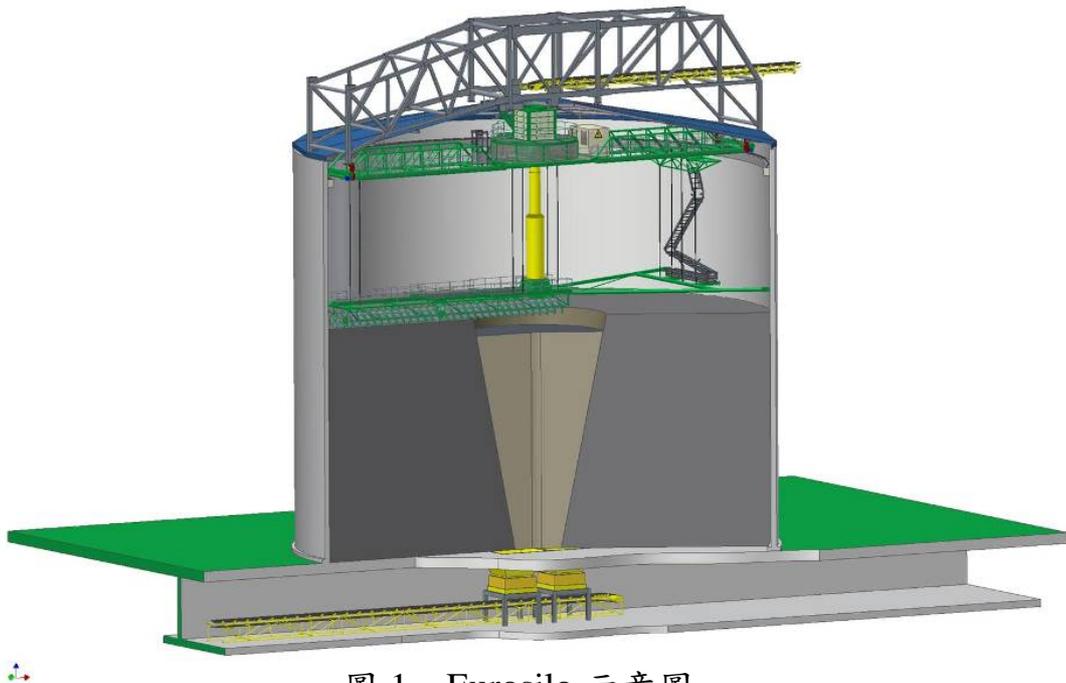


圖 1、Eurosilos 示意圖

Eurosilos 主要係由各項機械設備之配合，使物料之進、出皆可達到均勻、穩定地運作。所有機械設備的重量都由上面的桁架結構承受，該桁架架設於設置在煤倉上方的軌道，藉由軌道旁的齒輪箱提供動力，可使該結構做 360 度的旋轉。桁架中心下方有一絞盤，係用以調整底部機械設備之高度。Eurosilos 之電纜線管架亦設計為折疊式，可隨底部設備之高程而調整。

Eurosilos 主要設備如圖 2 所示，於煤倉上方由一進煤皮帶機輸送煤炭，並經煤倉中心之進料口進入一「可伸縮導槽」(Telescopic Chute)，將煤炭垂直卸至底部，並利用螺旋錐 (Auger or Screw) 將煤炭均勻地自煤倉中心往外佈料。螺旋錐將視煤堆高程而旋轉，並調整位置，使煤炭得以一層層地平均安置。

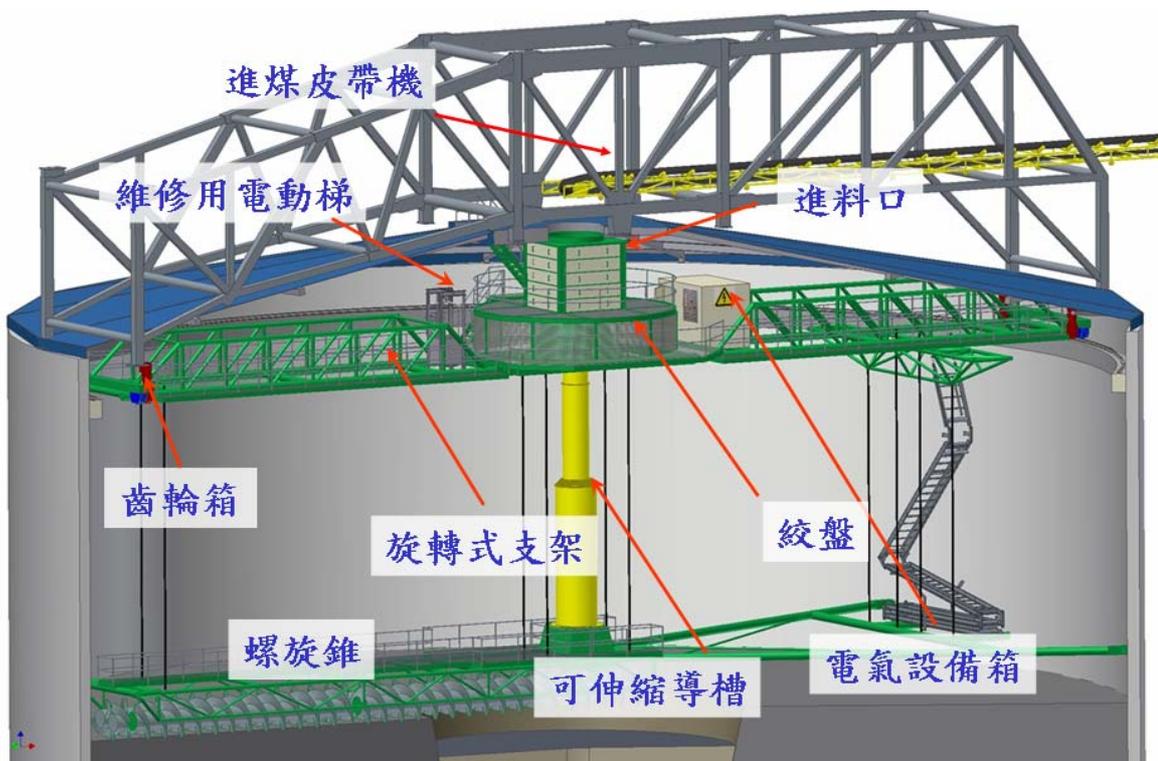


圖 2、Eurosilos 主要機械設備

在出料時，螺旋錐將反向操作，將煤炭向煤倉中心集中。由於出煤口在底部，故在煤倉中心將形成一煤錐，隨著底部煤

炭不斷輸出，該煤錐亦將緩慢向下移動。此時，除煤錐之外的煤堆仍為靜止狀態。為防止靜止煤堆崩塌，煤錐頂部與煤堆頂部之高程差異將控制在 1 公尺之內，亦即當兩者高程差異接近 1 公尺時，螺旋錐將開始運轉，將煤堆刮取至中心，直至兩者高程接近時，螺旋錐將停止運作。

煤倉底部有一「出煤機」(Uncoaler 或 Belf feeder)，係 ESI 公司專利設計，其運作原理係藉由底部之振動，將煤炭依設定好的出煤速率卸出 (圖 3)。依該公司所述，其出料能量之誤差在 $\pm 10\%$ 之內。

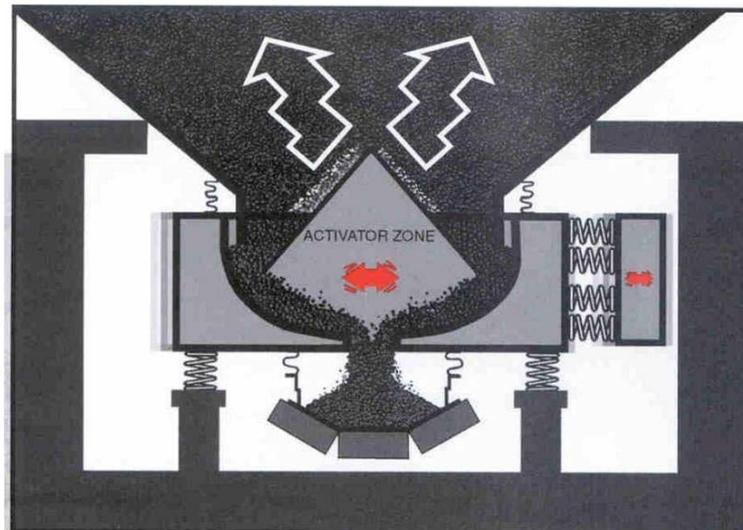


圖 3、出煤機運作原理

(三) 拌煤系統

與日本式筒狀煤倉相同，Eurosilco 之拌煤方式係在皮帶上拌煤 (On-Belt Blending)。如需拌煤時，可起動不同煤倉之底部出煤機以設定之容量運轉，並於下游下料至同一條供煤皮帶至電廠 (圖 4)。由於 ESI 公司之出煤機可變容量設定精確度十分可靠，拌煤之效果皆可符合電廠需求。

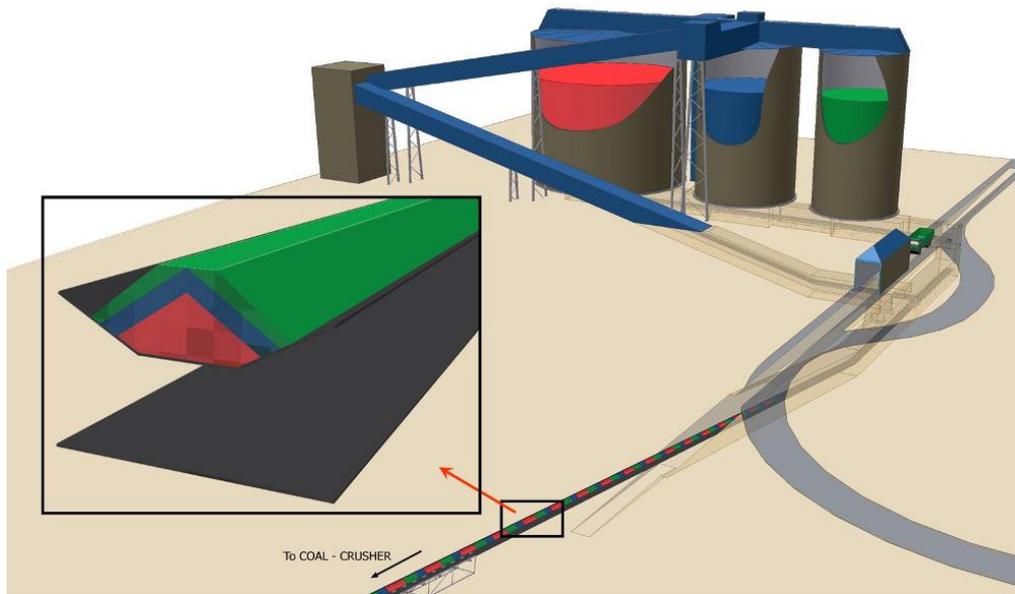


圖 4、拌煤系統示意圖

(四) 消防系統

儲存煤炭時，最主要的關鍵問題即係對於煤炭自燃現象之預防、抑制及因應措施。煤炭自燃需要溫度、氧氣、揮發性成份等因素相互配合下才會發生，故 Eurosilos 於其安全規定中明確表示，只要發現超過攝氏 40 度之煤炭即視為熱煤，將不予進倉，需另外冷卻後才可送進倉內儲存。

在監測煤炭自燃現象的方面，Eurosilos 頂部設有一氧化碳、甲烷及有害氣體監測器 (CH₄、CO Measuring)，並於最接近煤堆之螺旋錐末端增設一氧化碳監測器 (圖 5)，可及早發現煤炭自燃，啟動抑制設施。

一旦發生自燃，於煤倉頂部設有 4 個泡沫式滅火器 (Foam Thrower)，並可由三處控制 (中央控制室、煤倉頂部、煤倉外部入口)。於煤倉底部更設有 4 個以上之氮氣注入口 (Nitrogen Purging System)，可利用氮氣卡車直接由入口灌注氮氣，同時達到冷卻及與降低氧氣濃度的效果。

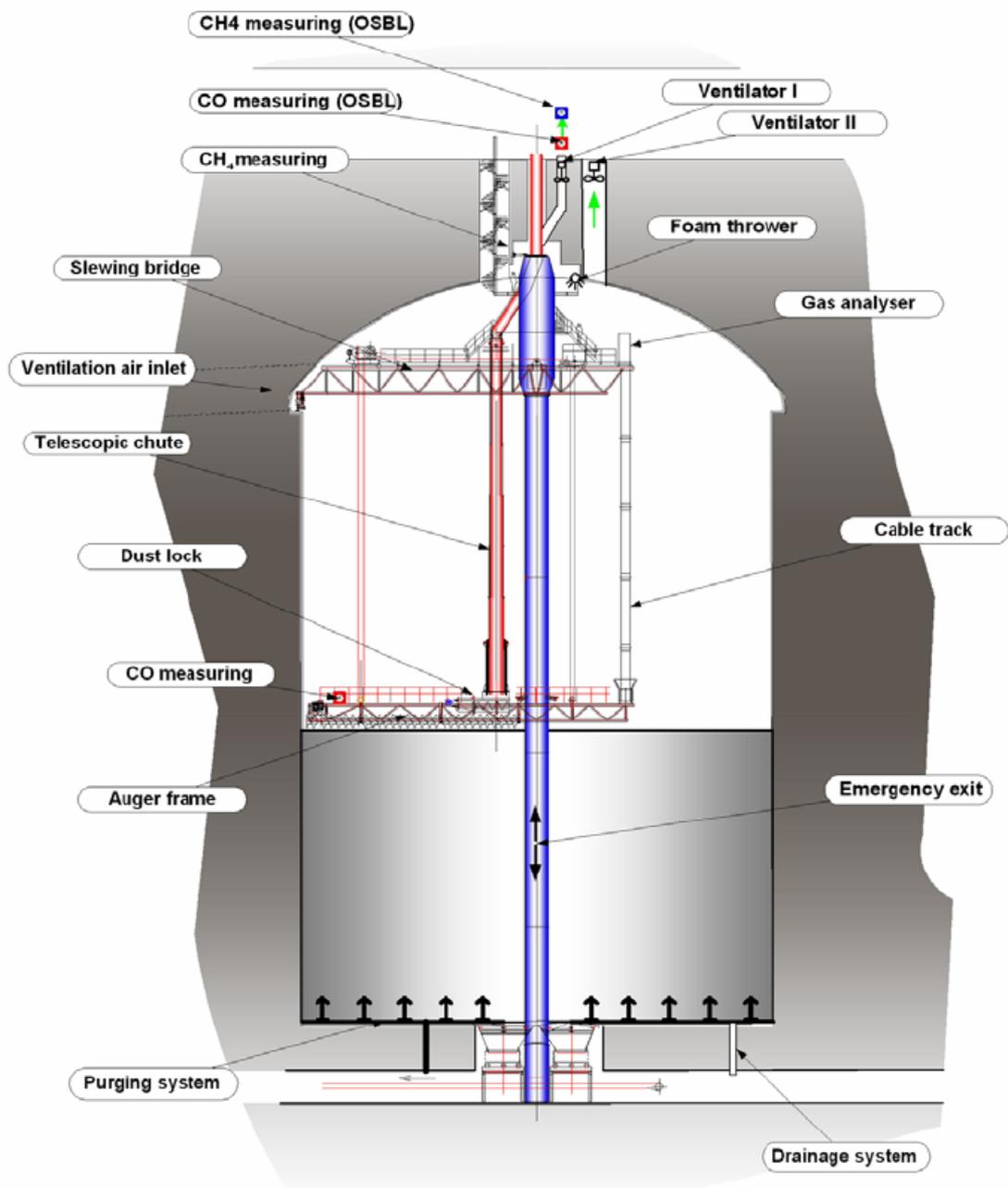


圖 5、消防系統示意圖

(五) 單一煤倉存放多種燃煤之可能性

一般而言，一個筒狀煤倉僅能儲放一種煤，惟 Eurosilos 內之煤堆表面平坦，可明確紀錄各種煤炭進倉後之高程，故同一煤倉可以儲放 2 種以上燃煤。

如圖 6-1，煤倉中有 A、B 兩種煤炭，先前已由電腦紀錄 A、

B 間之界面高程。在煤倉運作之下，將由中間之煤錐先行出煤，亦即 A 煤將先出倉燃用，由於 Eurosilos 係由上方取煤，將先刮取 B 煤，將之後煤錐將由 B 煤取代（圖 6-2~6-3），直至 B 煤完全燃用完畢。而如圖 6-4 中所示，在刮取 A 煤後，仍將有部分煤炭（C 區）係由 A、B 煤混合，僅此小量之煤炭性質較不易掌握之外，即使單一煤倉儲放多種煤質，亦可達到拌煤之功能。

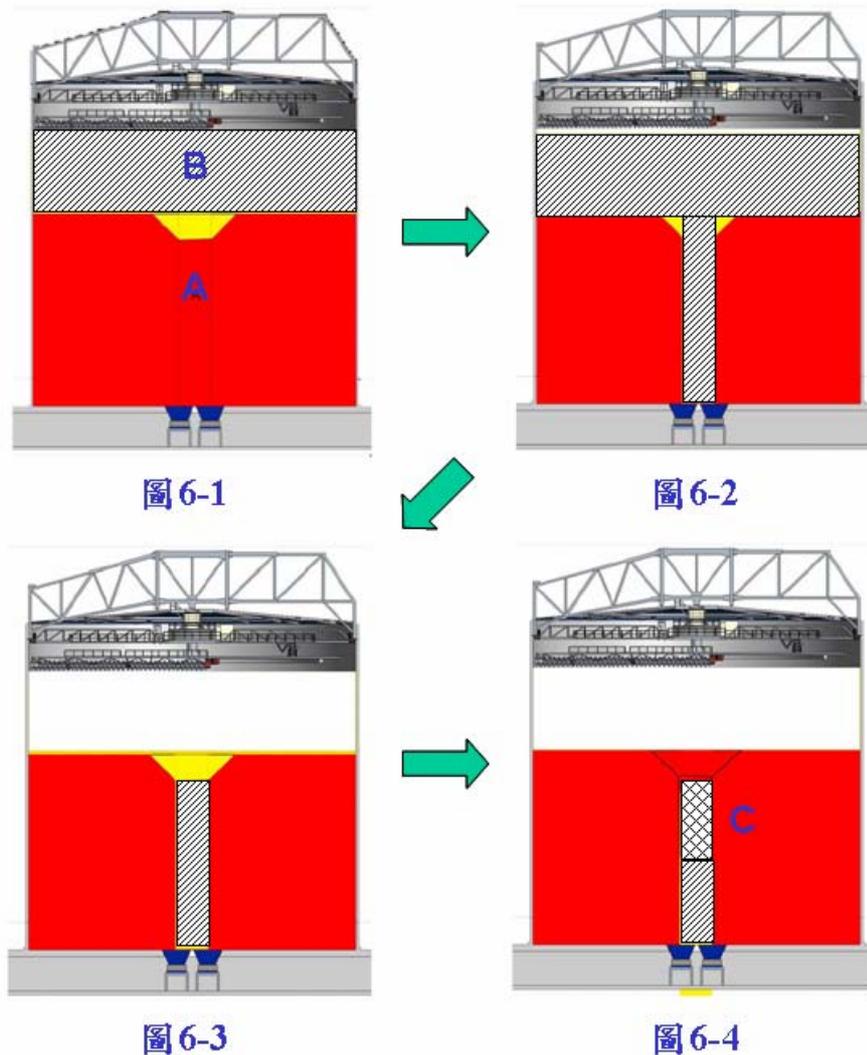


圖 6、在同一煤倉存放 2 種煤之示意圖

(六) 煤炭「先進後出」之疑慮

1、煤炭自燃問題

如前開第（四）項消防系統乙節所述，煤炭自燃需要溫度、氧氣、揮發性成份等因素相互配合下才會發生，故 Eurosilos 除明確要求，須嚴格管控煤炭溫度，高於攝氏 40 度之熱煤應不予進倉之外，亦設置一氧化碳與甲烷監測系統，並可利用防火泡沫與灌注氮氣之方式抑制自燃。

此外，由於 Eurosilos 底部僅有 1~2 個出煤口，其他底部結構皆為密閉，氧氣將無法自由地進入煤堆。依 ESI 公司測量結果，煤堆頂部表面之氧氣濃度約 21%，表面以下 1 公尺處即已減為 15%，表示以「先進後出」方式儲煤，將不易於煤堆內部發生自燃。

2、煤倉底部煤炭過度壓實之問題

煤炭不具黏滯性，不易發生底部煤炭過度壓實之問題。而萬一發生底煤硬化情形時，依據 ESI 公司於美國建造完成之 Ackerman 煤倉經驗，該煤倉儲放硬度較高之褐煤，為避免出煤時刮取困難，該公司於螺旋錐加設切割刀片（Cutting Bar），可輕易克服取煤困難的問題（圖 7）。



圖 7、切割刀片（Cutting Bar）

此外，螺旋錐取煤時之所設定之運轉電流僅約額定電流之75%，除可超載運轉外，亦可調整取煤速度及取煤厚度，使硬煤得以順利刮取。

(七) 日本與歐洲系統筒狀煤倉系統初步比較

目前本公司林口、深澳、大林等電廠更新改建計畫皆規劃採用日本系統之筒狀煤倉(圖8)，與歐洲系統之 Eurosilos (圖9) 同由上方進煤，下方出煤，惟兩者在於進、出料之方式有極大之差異。日本系統筒狀煤倉內之煤炭係「先進先出」(First in-First out) 而歐洲系統筒狀煤倉則為「先進後出」(First in-Last out)。

兩種煤倉之相關差異性比較如下頁表1，惟無論何種煤倉，都可符合本公司對於煤炭儲存之需求，仍需視廠址特性及特殊需求而定，兩者並無優劣之分。

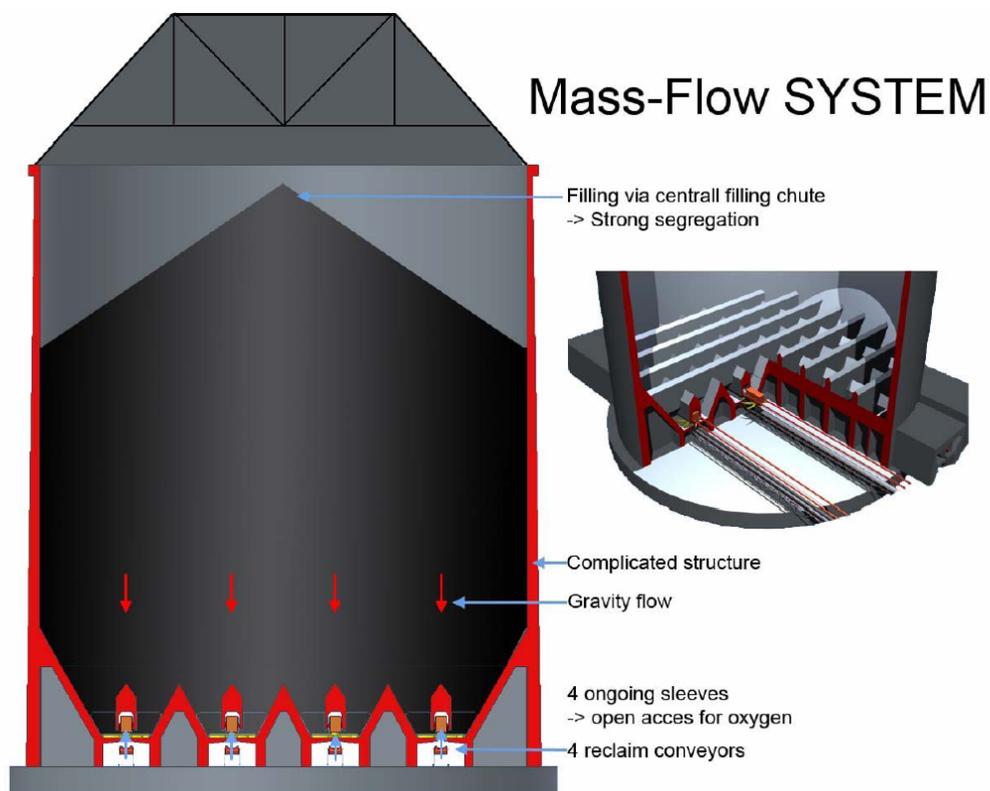


圖8、日本「先進先出」煤倉

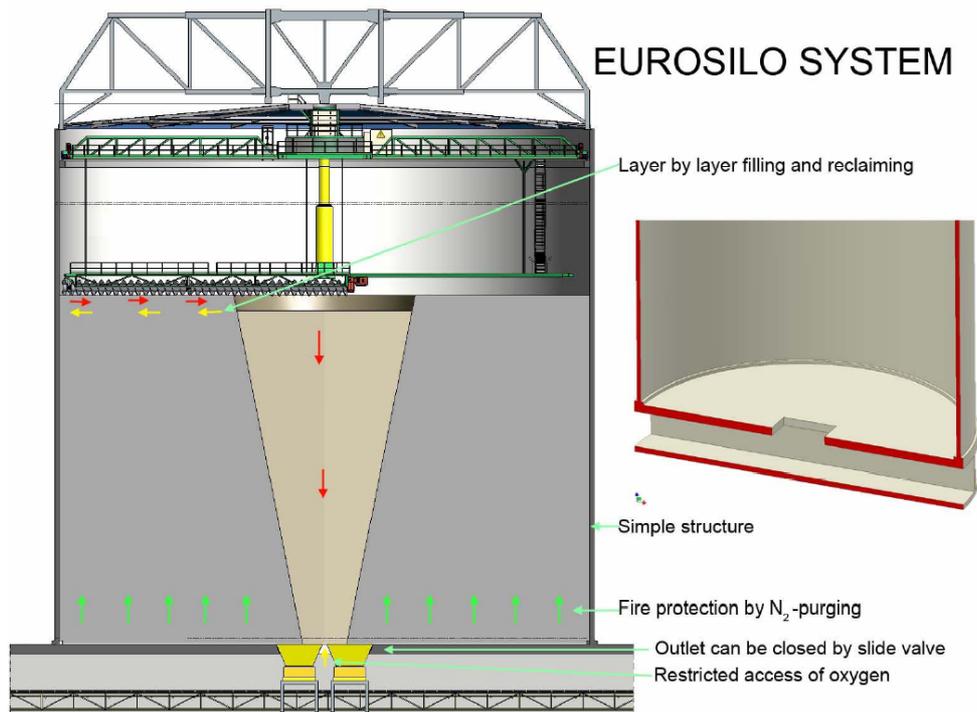


圖 9、歐洲「先進後出」煤倉

表 1、日本與歐洲筒狀煤倉系統初步比較 (儲煤量 7 萬噸)

	日本系統 (先進先出)	Eurosilos 系統 (先進後出)
直徑(m)	50	50
高度(m)	72	55
進料	重力式進料，煤炭級配易不均	層層佈料，煤炭分配均勻
出料	重力式出料，煤堆較易活動	煤堆大部分靜止
對自燃之抑制	底部有 4 處出煤口，較易與空氣接觸，惟發生自燃時，以「先進先出」方式較易換倉儲存	底部僅 1 處出煤口，較可防止空氣進入，必要時可予以封閉，並灌注氮氣，以抑制自燃現象
單一煤倉存放 2 種以上煤炭	無此經驗	可
土木結構	底部結構較複雜	較單純
機械設備	較簡易	較複雜
造價(新台幣)	約 4 億元(林口、深澳、大林)	據 ESI 公司估計約 3.7 億元 (€100/m ³) 註：歐元:台幣=1:42

三、芬蘭 Salmisaari 電廠之 Eurosilto 煤倉

(一) Salmisaari 電廠概述

1、電廠簡介

芬蘭首都赫爾辛基共有 3 座電廠，其中 Hanasaari 及 Salmisaari 等 2 廠為燃煤電廠，Vuosaari 為燃氣電廠。Salmisaari 電廠是該城最大的電廠，係一火電共生電廠 (Combined Heat and Power Plant)，其發電量與熱氣之生產比例約略固定，每部發電機組發電時均有兩部熱氣機組 (Heat Unit) 同時運轉。

該電廠每年發電量及熱氣量分別約 700 百萬度及 1500 百萬度。在滿載時，燃煤耗用量每小時約 70 噸，而年用煤量約在 35 至 55 萬噸間。該廠計有 A、B 兩機組，分別於 1953 及 1984 年商轉，A 機組僅提供赫爾辛基市冬季之熱氣需求，而 B 機組則兼具發電功能。

B 機組發電裝置容量約 16 萬瓩，熱氣裝置容量約 30 萬瓩，合計約 46 萬瓩，效率約 88%，煙囪高度約 153 公尺，用電尖峰出現在每年 12 月至 2 月間。

2、供煤系統

該電廠所需燃煤由俄羅斯及波蘭進口為主，其中俄羅斯煤之熱值較差，灰份約 11~16%，硫份則在 0.2~0.4% 間；波蘭煤熱值高，灰份亦在 11~16% 間，硫份約 0.7~1.0%。

該廠每小時燃用煤量約 30 噸 (夏季基載) 及 105 噸 (冬季尖載)，每年燃用煤量約在 35~55 萬噸間，購煤方式係以每年固定合約量向俄羅斯及波蘭採購，如當年用量超過合約量，則以現貨方式購買，此時亦有可能進口澳洲煤。

赫爾辛基三面臨海，Salmisaari 電廠亦位於海邊，設有一席卸煤碼頭，可進泊之最大船型為 45,000DWT 級煤輪。由於地理位置與俄羅斯極為接近，該碼頭亦可供該國駁船泊靠，惟駁船皆必須自備吊桿，並以抓斗卸煤。之後再利用地下輸煤帶轉運至煤場。

該廠於 19 年以前皆係利用室外煤場儲煤（圖 10），惟自 19 年起，赫爾辛基土地價值持續攀高，且市政府已將當時室外煤場用地納為新興住宅區用地（圖 11），為環保及景觀考量，故要求當時亦為市政府所有之該廠另行興建室內煤場。



圖 10、Salmissari 電廠鳥瞰圖（2003 年以前之室外煤場）



圖 11、赫爾辛基市政府計畫將室外煤場改建為住宅區

（二）Salmisaari 煤倉建造及營運經驗

就地質條件來說，俄羅斯西部、芬蘭及瑞典東部區域存在大量岩盤，赫爾辛基市容處處可見岩盤露頭（圖 12），位於市中心的地下教堂係該市著名景點之一。在該市政府要求電廠改建室內煤場之際，該廠即構思以地下煤倉取代室外煤場。於是該廠洽詢荷蘭 ESI 公司及日本 Hitachi 公司，就相關構想進行縝密的討論與規劃，最終由 ESI 公司取得 4 座儲煤量各 6.25 萬立方公尺之地下式煤倉的設計及興建工程。



圖 12、赫爾辛基處處可見岩盤露頭

有關 Salmisaari 電廠之地下式煤倉工程，簡述如下：

1、地下式煤倉相關規劃設計內容

自卸煤碼頭至電廠間之距離約 700 公尺，原先已設有地下輸煤廊道，供煤炭運送至舊有室外煤場。循該路徑，該廠將輸煤廊道拓寬，並於碼頭至電廠間設置 4 座儲煤量各 6.25 萬立方公尺（合 5~6.25 萬噸）之地下式筒狀煤倉。每座煤倉直徑約 40 公尺，高度約 80 公尺，煤倉底部最低已達海平面以下 127 公尺（圖 13）。煤倉配置請詳圖 5。由於煤倉位於地底下，高度達 80 公尺，為提供螺旋錐之定位，設有一中心柱，可使螺旋錐循固定路徑升降，不致偏移。

煤炭經由公稱能量 1500 噸/小時之進倉皮帶機送至地下煤倉，煤炭出倉後經由煤倉底部 500 噸/小時之出料輸煤帶運至電廠正下方，再利用垂直高差約 86 公尺之垂直式輸煤帶，送進電廠日用煤倉。

煤倉直徑係決定於該處岩盤可開挖之最大寬度，由於地質條件優良，煤倉內部亦不需要任何混凝土襯砌，完全以自然岩壁做為煤倉壁面（圖 14）。

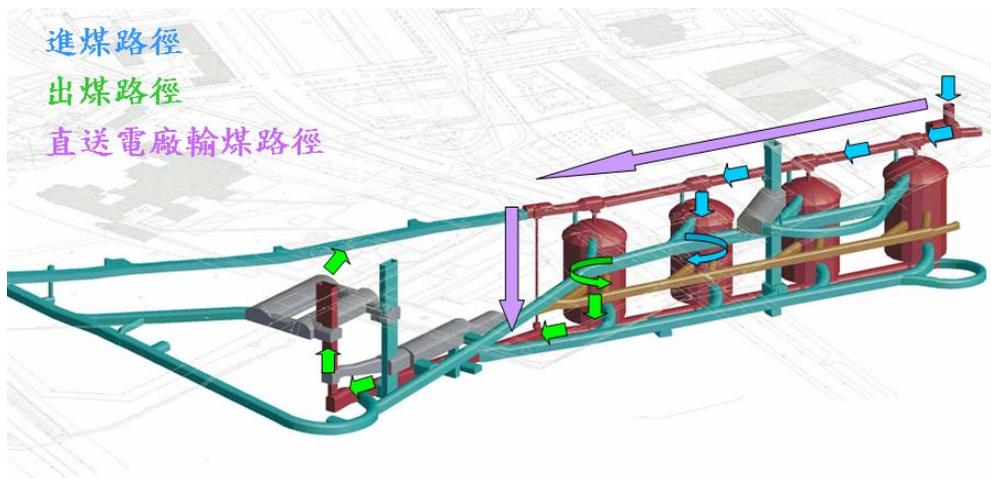


圖 13、地下式煤倉及輸煤路徑示意圖



圖 14、以岩石作為倉壁

該廠每座煤倉底部雖僅 1 處出煤口，為避免空氣從該處自由進出煤倉，造成倉內氧氣濃度過高，進而對於煤炭自燃抑制有負面效果，ESI 公司特於出煤口處增設活動式鋼板，利用油壓控制，於不出煤時將出煤口封住。如此可使得煤倉底部不致有過高的氧氣濃度，可預防煤炭自燃（圖 15）。



圖 15、煤倉底部出煤口之活動式擋板

2、工程進度及經費

地下煤倉計畫於 2000 年春天動工，至 2003 年秋天才完成開挖之工作，而在 2004 年 3 月即完成了機械設備的組裝，於 2004 年 4 月開始運轉。ESI 公司負責煤倉 3 年之維護工作，亦即在 2007 年 3 月以前，所有的煤倉維護費用皆由 ESI 公司負擔。

全部工程經費約 6,400 萬歐元，每立方公尺之單位造價約 256 歐元，約合新台幣 10,752 元（歐元：台幣=1:42）。其中約 65% 係用於岩石鑽炸開挖及土木建設，而其他機械儀控設備則約佔 35%。

3、營運期間之困擾

(1) 可伸縮導槽 (Telescopic Chute) 之卡煤問題

可伸縮導槽類似早期之單眼望遠鏡，利用不同直徑的分段式套筒設計，可使導槽自由地伸長或縮短 (圖 16)。煤炭自煤倉上方進料後，即係經由該中空導槽內部垂直下落至煤堆。在煤堆掉落時，曾發生煤塊卡在導槽某些段的套筒之間，由於煤塊粒徑大於套筒間之間距，故在導槽伸縮時，曾因煤炭卡住，而發生導槽故障的情形。



圖 16、可伸縮導槽

該事件發生後，經由 ESI 公司花費 2 個月時間變更設計並更換新品，除將套筒間間距加大之外，亦於各段套筒間設置刮煤器，使導槽於伸縮時亦不致發生卡煤現象。自 ESI 公司修正套筒間距問題之後，該 4 座煤倉營運迄今均十分順利。

(2) 煤炭自燃現象

該廠煤倉自 2004 年完工運轉迄今，僅於當年 12 月發生過 1 次煤炭自燃現象。該次事件之發生原因係由於人為操作，使高達攝氏 42 度之俄羅斯煤進倉儲放，進而產生熱煤悶燒的現象。該廠人員表示，由於每年 12 月至 3 月間係

不進口煤炭的冬季，依法規規定，必須於 11 月底前將所有煤倉儲滿，而當時即便已經偵測出熱煤的存在，仍不得不將其進倉存放，惟該廠持續監探該熱煤堆之溫度，並採行必要的措施。

該熱煤堆集中在煤倉中心柱區域，自燃初期產生大量濃煙，該廠利用滅火泡沫及灑水裝置先行降溫，於 1 天之內克服濃煙問題，並防止燃燒現象擴大。俟後並利用煤倉底部之氮氣灌注口，點購氮氣車，將氮氣注入煤倉底部，使煤堆冷卻並隔絕空氣。使用氮氣之成本極高，惟該廠並未透漏實際發生金額。4 座煤倉上方有不少地面建築物（圖 17），惟該自燃事件之發生，地上的民眾均一無所知。

由於該廠已無足夠的空間可供熱煤先行出倉儲放，故該廠人員對於該次自燃現象之因應對策僅是持續灌注所費不貲的氮氣，直至該熱煤堆於 1 週後送進鍋爐燃燒為止。據本次訪問之煤運工程師表示，假使未來仍有類似的熱煤問題，視月份而定，該廠仍有可能繼續將熱煤送進煤倉。



圖 17、煤倉上方建物（電廠位於照片右側）

4、為何不考量日本系統之煤倉

該廠在規劃設置地下式倉之初，亦曾考量日本「先進先出」型式之煤倉，惟考慮日本系統煤倉底部之土木結構遠較 Eurosilos 複雜，而地下煤倉之底部將位於海平面以下 127 公尺，恐有施工及維修不便之困擾。此外，赫爾辛基地下岩盤條件良好，可不需施作混凝土結構，即可自然成型。日本系統煤倉底部需設計 4 個槽狀出口，無法以岩盤自然成型。

Eurosilos 之操作大量倚靠機械設備之配合，且相關設備大多位於煤倉上半部，對於該廠之檢測及維護較為有利，故仍以 Eurosilos 為首選。

5、對本公司設置煤倉之建議

該廠人員表示，赫爾辛基地質條件優異，足以施作地下式煤倉，惟仍需面臨地下水滲漏問題。且該廠高差約 86 公尺之垂直式輸煤帶使用狀況不甚理想，爰建議除非無特殊環境需求，仍應以地面式煤倉為宜，並應儘量避免使用垂直式輸煤帶。

四、德國 Tiefstack 電廠之 Eurosilos 煤倉

(一) Tiefstack 電廠概述

1、電廠簡介

Tiefstack 電廠在德國當地又稱為 HEW 電廠，位於漢堡東南方之郊區，廠區緊鄰艾比河 (Elbe)，係提供漢堡市電力及熱氣的重要電廠之一。該廠於 1917 年完成後，分別於 1934 及 1956 年更新機組。由於漢堡於 1993 年春天開始實施大型燃燒設備相關法規，所有舊機組皆提早停機拆除，並予以更新改建。至法規實施時，新機組皆已完工商轉。該廠鳥瞰圖如圖 18。

該廠 2 部燃煤機組裝置容量各為 16.2 萬瓩，採用貫流式鍋爐，主蒸汽及再熱蒸汽溫度均為攝氏 540 度，壓力為 18.6MPa。發電效率約 38% (LHV, Net)，包括熱氣之整體淨熱效率則約 93%。燃煤耗用量每小時約 66 噸，每年用煤量則約 52 萬噸。



圖 18、Tiefstack 電廠

2、供煤系統

該廠於規劃更新改建時，原本仍計畫保留既有之室外煤場，故鍋爐與粉煤機等設計均以室外煤場之思維進行考量。每個鍋爐配有 3 台粉煤機，不同日用煤倉儲存不同煤源之煤炭，經粉煤機磨煤後，同時將 2~3 種不同煤質直送鍋爐燃燒，以作為拌煤方式。

因於相關環保法令趨嚴，該廠不得不於主設備發包施工後，旋即進行煤場之改建工程，將室外煤場原址改建為室內煤倉。煤倉之設置將不考慮額外的拌煤功能。

該廠緊鄰艾比河，燃煤經由 14,000DWT 之駁船泊靠，利用抓斗式卸煤機卸運後，以輸煤帶運至 2 座於 1995 年完成之 Eurosilos 煤倉，進、出倉皮帶機之公稱能量均為 500 噸/小時。

該廠煤炭主要進口自俄羅斯及南非，並曾進口中國大陸、澳洲、波蘭及哥倫比亞煤。每小時燃用煤量約 66 噸，年用煤量約 52 萬噸。

(二) Tiefstack 煤倉建造及營運經驗

1、地面式煤倉相關規劃設計內容

該廠 2 座煤倉之配置如圖 19。有效儲煤容量各約 5 萬立方公尺（合 4~5 萬噸），內徑約 49.5 公尺，牆厚約 40 公分，最大儲煤高度約 26.15 公尺，煤倉總高度則為 34.15 公尺（含頂蓋）。頂部進倉皮帶機公稱能量 500 噸/小時，底部出倉皮帶機公稱能量亦為 500 噸/小時。

煤倉為鋼筋混凝土結構，惟為配合電廠整體意象，該廠委由建築師設計，於煤倉外部被覆紅磚及金屬浪板（圖 20），約花費 100 萬歐元。

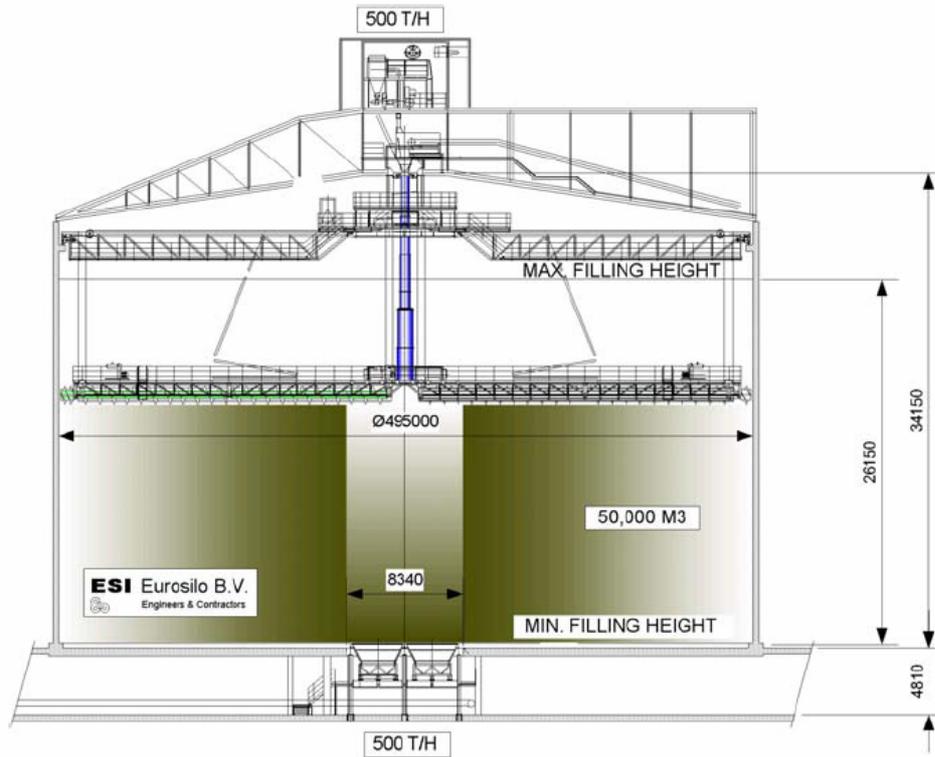


圖 19、Tiefstack 電廠煤倉立面圖



圖 20、Eurosilo 外型

2、工程進度及經費

該廠於 1993 年 3 月至 12 月，利用原有室外煤場之一半面積施作第 1 座煤倉之基礎，同年 12 月至 1994 年 3 月則因冬季

無法進煤，為維持充裕之存煤量，需利用第 1 座煤倉之地坪及另一半室外煤場同時儲滿煤。1994 年 3 月至 12 月則進行第 2 座煤倉之基礎，直至 1995 年，才建造地面結構並於同年完工。

2 座煤倉總工程費用約 3,600 萬馬克(1995 年價位)，約 1,800 萬歐元，每立方公尺之單位造價約 180 歐元，約合新台幣 7,560 元(歐元：台幣=1：42)。據該廠煤運人員表示，自完工至 2005 年約 10 年間，2 座煤倉之總維修費用(包括螺旋錐之更新)約 40 萬歐元，即每年 4 萬歐元，似乎稍過偏低。

3、營運期間之困擾

該廠煤倉於營運期間主要所遭遇之問題與芬蘭 Salmisaari 電廠相同，皆為可伸縮導槽之卡煤問題，且亦都因為熱煤進倉而導致 1 次煤炭自燃現象。簡要說明如下：

(1) 可伸縮導槽 (Telescopic Chute) 之卡煤問題

Tiefstack 電廠煤倉於 1995 年完工，和前述 2004 年完工的芬蘭 Salmisaari 電廠煤倉相同，都有可伸縮導槽的卡煤問題。Tiestack 煤倉之可伸縮導槽於 1996 年時即因導槽之套筒間間距過小，使得煤炭卡在套筒之間，隨著絞鏈的升降，套筒間因此而解體。ESI 公司旋即進行更新，並增加套筒間距，此後，Tiestack 電廠煤倉即可正常運轉。所花費的時間約 2 月餘。

(2) 煤炭自燃現象

約在 2004 年，也就是該廠煤倉運轉近 10 年之際，於煤倉內發生了唯一一次的自燃現象。與 Salmisaari 電廠發生自燃的原因相同，Tiefstack 電廠已查覺溫度略高於攝氏 40 度之熱煤，惟該廠基於過去運轉近 10 年之經驗，認為過去

接近攝氏 40 度之煤炭亦未造成自燃現象，也就將熱煤直送煤倉儲存。該煤係進口自哥倫比亞，該廠人員推測是倉內同時存放多種煤源的緣故，導致熱煤開始悶燒，產生大量的濃煙。

在偵測到了一氧化碳濃度過高時，濃煙尚未大量發生，該廠即開始灑水，並使用特殊之滅火膠（Fire Sorbe），據該廠人員表示，滅火膠之效果較滅火泡沫為佳，泡沫只能維持 2 小時不到，之後即轉變為水，而滅火膠不但可提供良好的隔絕，且可作為強力冷卻劑。

同時，該廠亦訂購氮氣以抑制自燃。氮氣卡車於事件發生後的次日抵達，約 2 天後才將濃煙問題解決。惟該廠仍持續灌注氮氣，直到 25 天後，倉內熱煤送至鍋爐全數燃用完畢方休。該期間之氮氣共花費了 50 萬歐元，該廠經過數月的申請並聲稱該事件非煤炭自燃，而是「某種程度的氧化現象」，最終才說服保險公司全數支付該項氮氣費用。

自該次事件之後，該廠為安全考量，決定每 3 個月將煤倉清空一次，以確保倉內不致發生煤炭悶燒之情形。

4、為何不考量日本系統之煤倉

該廠在計畫興建室內煤倉時，曾就 A-Frame、Dome 及 Silo 等型式進行評估考量，而在決定選用 Silo 後，亦曾考量日本系統之煤倉。

由於該廠煤場係原址改建，為確保該廠有充裕的冬季存煤量，即便在施工期間，能否提供臨時空間作為臨時煤場係該廠最重要的考量。如前述之煤倉施工計畫，Eurosilos 因底部結構係一般的鋼筋混泥土地坪，可於基礎及地坪施作完畢後作為臨時

室外煤場，至用電尖峰期過後，再興建地面上之煤倉結構。而日本系統之煤倉底部結構較為複雜，一旦興建，原有室外煤場勢只剩下一半之空間可供儲煤。

此外，當時該廠曾請 ESI 公司將日本及歐洲系統予以比較，ESI 公司提出 Eurosilos 底部僅一出煤口，不似日本有 4 個出煤口，將有過多氧氣自底部進入煤倉，進而產生提高煤炭自燃機率之疑。該廠於是採用緊鄰德國之荷蘭 ESI 公司煤倉。

5、對本公司設置煤倉之建議

該廠煤運人員表示，本公司未來興建筒狀煤倉時，應特別注意熱煤管控，並建議以防火膠（Fire Sorbe）取代滅火泡沫。本公司如採購之燃煤 HGI 值較低或黏滯性較高時，該員建議仿 ESI 公司於美國之案例，於螺旋錐如裝切割刀片，增加取料易度。

肆、德國 Niederaussem 電廠介紹

一、RWE 電力公司

RWE 公司是德國境內最大的電力公司，並擁有豐富之褐煤及硬煤礦，其褐煤產量每年約 100 萬噸。該公司褐煤蘊藏量約 40 億噸，均位於萊茵河流域，應可供該公司再開採 40 年。正由於擁有豐富的褐煤蘊藏量，該公司每年褐煤開採量 90% 用於發電，另外 10% 則於加工後售出。

該公司利用褐煤發電之電廠計有 4 座：Weisweiler、Niederaussem、Neurath 及 Frimmersdorf 電廠，裝置容量合計約 1,000 萬瓩，約佔德國電力需求的 15%，而該國約 27% 的發電量係燃用褐煤而來。

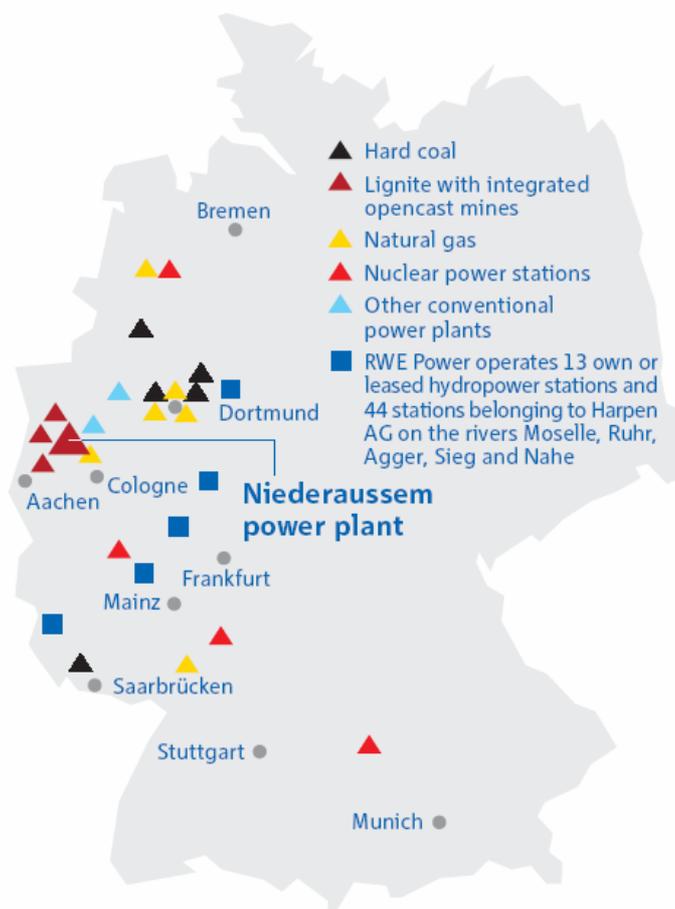


圖 21、RWE 公司各電廠分布圖

該公司員工人數約 2 萬人，發電廠總裝置容量約 3,300 萬瓩，年發電量約 1,900 億度，每年利潤約 80 億歐元。該公司旗下各類發電方式之裝置容量及發電量佔比如下：

表 2、RWE 公司裝置容量及發電量佔比

發電方式	裝置容量佔比 (%)	發電量佔比 (%)
一、褐煤	31	36
二、硬煤	28	29
三、核能	17	22
四、天然氣	12	5
五、水力及再生能源	12	4
合計	100	96 (4% 係短期交易)

二、Niederaussem 電廠

(一) BoA 技術

褐煤電廠之設計主要著重於發電效率，而所謂的 BoA 技術，即是最佳褐煤電廠設計 (Lignite-based Power Generation with Optimized Plant Engineering)。BoA 的觀念在於：高效率、高經濟性、提昇環境兼容性、高可用率。

RWE 公司運用 BoA 技術之首例，即為 Niederaussem 電廠的第 K 機組 (Unit K)，基於該機組的成功經驗，RWE 公司已於 2006 年，在鄰近的 Neurath 電廠興建 2 部新機組，稱為 BoA 2 and 3，故第 K 機組又稱為 BoA 1。

該機組裝置容量約 100 萬瓩，淨熱效率可達 43% 以上 (LHV, Net)，藉由提升機組效率，該部機每年最高可較既有機組抑低二氧化碳排放量約 300 萬噸。

該廠各機組裝置容量及商轉時間如下：

表 3、Niederaussem 電廠各機組裝置容量及商轉時程

機組別	裝置容量(萬瓩)	商轉年(西元)
第 A 機組	14.4	1963
第 B 機組	15.2	1963
第 C 機組	33.5	1965
第 D 機組	32.0	1968
第 E 機組	31.5	1970
第 F 機組	32.0	1971
第 G 機組	63.0	1974
第 H 機組	63.6	1974
第 K 機組	101.2	2003



圖 22、Niederaussem 電廠配置（最右側為第 K 機組）

(二) 提升熱效率之作法

德國煤礦資源豐富，國內電力大幅倚靠燃煤發電，而德國政府因應京都議定書生效，至 2020 年為止，最主要抑低二氧化碳排放量的作法即是提昇機組熱效率。

BoA 1 機組提升熱效率之作法如下 (圖)：

- 1、冷卻塔最佳化設計：熱效率可提升 1.4%。
- 2、煙氣廢熱回收：熱效率可提升 1.3%。
- 3、提昇蒸汽條件：熱效率可提升 1.6%。
- 4、製程最佳化：熱效率可提升 1.6%。
- 5、汽輪機效率改善：熱效率可提升 2.3%。
- 6、降低廠用電：熱效率可提升 1.5%。

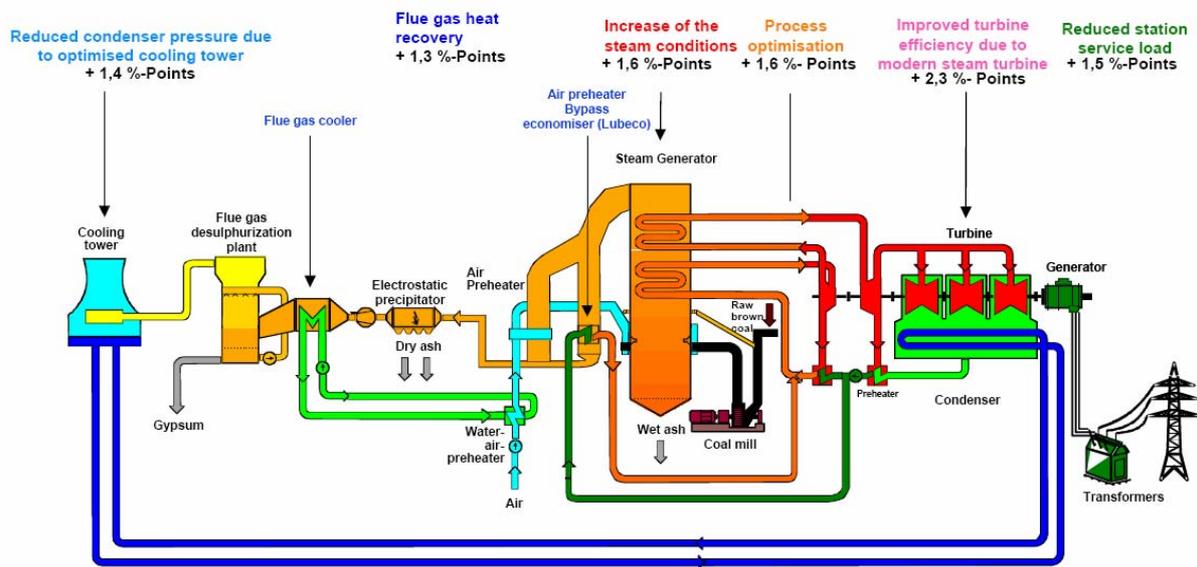


圖 23、第 K 機組提昇熱效率之措施

本次參訪係由 RWE 公司之鍋爐工程師及第 K 機組的鍋爐製造廠商 Alstom 公司派員陪同。BoA 1 鍋爐為塔式鍋爐，高約 167.5

公尺，外牆係以鋁合金浪板被覆，極具現代感（圖 24）。

針對褐煤高硬度的特性，BoA 1 設置了特殊的輪式粉煤機（圖 25），而該廠所燃用褐煤含水量最高可達 50%，故在鍋爐的設計上，亦針對了此一特性，設計了 2 階段的燃燒器，將水分較多的煤炭送至較高的燃燒器。在火上空氣部分（OFA），亦設置 2 個空氣入口，而該鍋爐的過量空氣為 15%。

鍋爐立面圖如圖 27。表 4 為機組設計參數、環保排放設計值及鍋爐設計煤質。



圖 24、BoA 1 鍋爐



圖 25、粉煤機

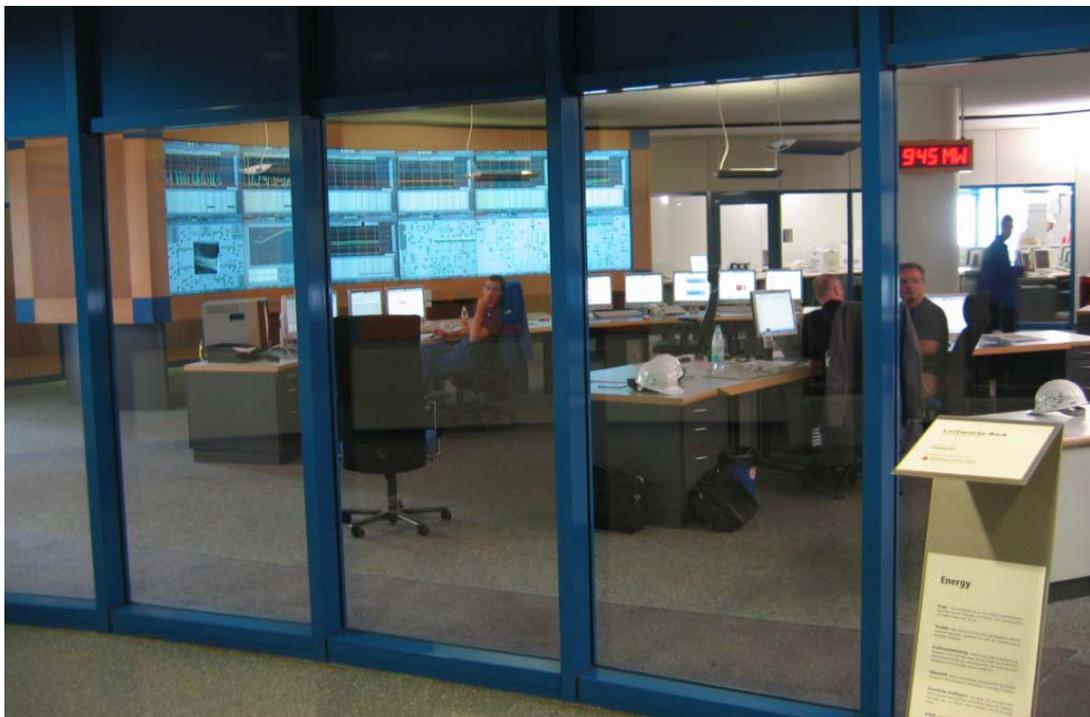


圖 26、中央控制室

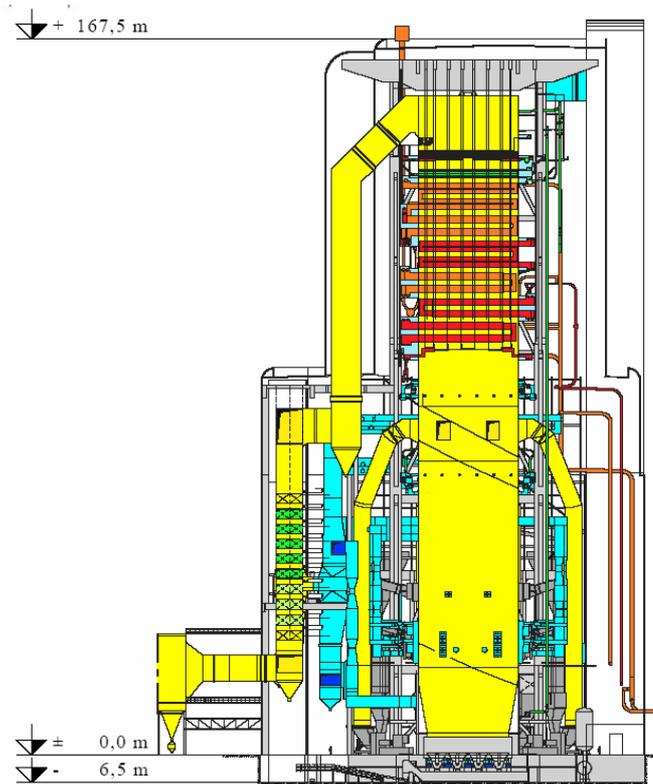


圖 27、第 K 機組塔式鍋爐立面圖

表 4、機組設計參數

項目	單位	設計值
一、機組		
商轉日期		2003 年 1 月 28 日
總出力	萬瓩	101.2
廠用電	%	4.6
淨出力	萬瓩	96.5
淨熱效率 (LHV)	%	>43
二、鍋爐		
主蒸汽流量	t/h	2,620
飼水溫度	°C	294
主蒸汽壓力/溫度	MPa/°C	27.4 / 580
再熱蒸汽壓力/溫度	MPa/°C	6.0 / 600
鍋爐效率	%	94.4

表 5、鍋爐設計煤質

項 目	單 位	設 計 值
一、熱值 (LHV)	Kcal/kg	1,990~2,500
二、含水量	%	51.0~58.0
三、灰份	%	2.0~12.0
四、硫份	%	0.4~0.9
五、揮發性物質	%	54
六、燃料耗用量 (滿載)	kg/s	224.1

表 6、環保排放設計值

項 目	單 位	設 計 值
氮氧化物 NO _x	ppm	≤200
懸浮微粒 TSP	mg/Nm ³	<50

(二) 工程進度

該廠第 K 機組自開工至正式商轉約 53 個月，鍋爐工程則約耗時 36 個月，重要工程里程碑如下表。

表 7、Niederaussem 電廠 Unit K 工程重要里程碑

項 目	時 間
一、開工	1998 年 08 月 30 日
二、鍋爐壓力測試	2001 年 10 月 18 日
三、鍋爐點火	2002 年 05 月 21 日
四、通氣至汽機	2002 年 08 月 24 日
五、併聯	2002 年 08 月 30 日
六、首次滿載運轉	2002 年 11 月 07 日
七、試運轉	2002 年 11 月 29 日
八、正式商轉	2003 年 01 月 28 日

伍、心得與結論

- 一、地緣問題往往是各界在參考相關經驗時，最主要的考量因素。本公司曾派員就近至日本考察筒狀煤倉，其運維經驗相當良好，於是在近期之林口、深澳、大林等電廠更新改建計畫中，皆以日本系統之筒狀煤倉為主要儲煤方式。相同地，分屬芬蘭及德國的 Salmissari 電廠及 Tiefstack 電廠，亦主要參考了位於荷蘭 ESI 公司所發明的 Eurosilos 系統，其建造及運維經驗迄今亦堪稱良好。尤其是 Salmissari 電廠大膽地興建地下式煤倉，更是為燃煤儲存系統提供新頁。
- 二、在歐洲古老的觀念裡，煤炭不可存放於高處，原因之一係高處通風較佳，極易發生自燃現象。在筒狀煤倉問世之後，此一迷思即已破除，而各界對於煤炭「先進後出」的相關疑慮似尚未獲得澄清。依 ESI 公司之測試結果及 Salmisaari、Tiefstack 電廠之運轉經驗，煤炭「先進後出」之運作模式極為順利，皆未發生煤倉底部煤炭因過度壓實而無法出煤之情形。
- 三、Eurosilos 對於煤炭自燃現象之預防及抑制對策甚為周到，其中又以氮氣的灌注最獲電廠肯定。僅需預留氮氣灌注口，於倉內發現自燃現象後，再行向廠家訂購氮氣即可，由於倉內已設有滅火泡沫或滅火膠設備，故氮氣卡車可於次日再抵達，平時不需要另行投資氮氣儲存設備。
- 四、在煤源多元化且煤倉數量有限的情形下，Eurosilos 最大的好處即是單一煤倉可儲放多種煤，且仍可甚為精確進行下游皮帶機之拌煤作業。
- 五、日本及歐洲系統之筒狀煤倉各有優劣，兩者最主要的差異在於：日本系統之土木結構較複雜，機械設備較單純，而歐洲系統之土木結構相對簡單，機械設備之配合較為複雜。似乎在芬蘭及德國

等歐洲國家對機械設備之信心程度極高，而在亞洲地區，普遍地認為土木結構遠較機器可靠。

- 六、Eurosilos 最高可提供約 11 萬立方公尺（合 8.8~11 萬噸）之有效容量，惟最大實績儲煤量僅約 6.25 萬立方公尺（合 5~6.25 萬噸）。而本公司參考日本實績，以有效儲煤量 7 萬噸做為規劃基準，未來如確將 Eurosilos 與日本系統煤倉併同納入規劃考量，則單一煤倉之儲煤量需再重新考量。
- 七、Eurosilos 底部土木結構平坦，在相同的儲煤量及煤倉直徑時，煤倉總高度較日本系統低 10 餘公尺，對景觀之衝擊稍較輕微。
- 八、目前國內尚無日本系統或 Eurosilos 系統筒狀煤倉之實績，故就目前為止之相關評估資料亦僅限於他國建造及營運經驗。各項設備之興建期程、成本、使用情形等，皆與各國民情及管理制度息息相關，未來本公司新設煤倉完工後，應可提供較為堅實之比較參考依據。
- 九、日本系統之煤倉機械設備雖不若 Eurosilos 複雜，惟每座日本系統煤倉底部皆設有 4 部犁式出煤機（Rotary Plow Feeder, RDF），據日本電廠表示，RDF 對於出煤量之精度較差，仍需於出煤皮帶機後方設置稱重設備，方可達到較為精確之拌煤效果。而依芬蘭及德國二電廠人員所述，Eurosilos 之出煤設備對於出煤量之控制精度皆十分滿意。
- 十、依芬蘭及德國二廠之運維經驗，僅德國 Tiefstack 電廠曾於煤倉中存放亞煙煤，但為數甚少。本公司未來所購燃煤將有極大部分係具有高黏滯性的亞煙煤，而 Eurosilos 係利用振動方式出煤，煤倉底部是否會因亞煙煤的黏滯性造成「架橋」現象而導致無法出煤，目前無法得知。

十一、德國 Tiestack 電廠於 1996 年發生可伸縮導槽之卡煤問題，導致導槽之斷裂，經 ESI 公司改善後雖可順利運作，惟於 2004 年完工之芬蘭 Salmisaari 電廠亦發生相同的卡煤現象，即使不似德國嚴重，惟相同的問題重複地發生，顯示未來不無再次發生的可能。

十二、德國 RWE 公司以提昇其褐煤發電廠熱效率之方式，以抑低二氧化碳排放量，為目前國際間抑制二氧化碳排放較為經濟可行之作法。該公司所屬 Niederaussem 電廠第 K 機組之熱效率已達 43.2% (LHV, Net)，該公司並已於鄰近之 Neurath 電廠興建 2 部超臨界發電機組，熱效率將更高於 Niederaussem 電廠之第 K 機組。本公司持續辦理現有電廠汰舊換新，實已符合先進國家之具體作法，應持續積極推動。

陸、建議

- 一、本公司目前規劃之 Silo 均以日本系統為主，而 Eurosilos 系統因採「先進後出」方式儲煤，致有煤炭自燃及煤倉底部煤炭可能需長期貯於倉內等疑慮，故過去均未納入考量。今參考芬蘭 Salmisaari 電廠及德國 Tiefstack 電廠之 Eurosilos 相關經驗，雖該二廠各發生一次自燃現象，惟據煤運人員表示，該兩次自燃現象均屬人為因素，可事先預防，且可藉由防火膠及氮氣抑制。此外，因煤炭不具黏滯性，依電廠營運經驗，尚未發生底煤硬化之情事。爰此，本公司過去對於 Eurosilos 之可能疑慮已初步獲得澄清，儲煤量實績已達 5~6.25 萬噸，他國營運經驗亦堪稱順利，建議未來筒狀煤倉之規劃，可將日本系統與 Eurosilos 併同納入考量。
- 二、日本系統及 Eurosilos 之初期單位設置成本差異不大，惟未來於採購時，可考慮就二者之生命週期成本 (Lifecycle Cost) 或參考本公司採購卸煤機經驗，以包含備品之 15 年總成本納入評比，以確實達到降低成本之目的。
- 三、Eurosilos 煤倉底部出料系統係利用出煤機 (Uncoaler) 以振動方式出煤，由於本公司未來所購燃煤將有為數不少的亞煙煤，考量該煤種具高黏滯性，推測於出煤口上方可能會發生煤炭「架橋」之情形，致無法出煤。故未來如 ESI 公司參與投標時，需請該公司預先提出預防及因應對策。
- 四、日本系統與 Eurosilos 各有優劣，本公司雖均規劃日本系統之煤倉，惟 Eurosilos 確有某些設計理念可供借鏡參考，甚或於未來採購日本煤倉時可考慮將部分 Eurosilos 之作法納入規範要求(如出煤口部分設置活動式鋼板，可關閉出煤口，以抑制空氣自由進出煤倉)。