

出國報告 ( 出國類別：實習 )

(裝訂線)

# 高效能供煤系統自動化儀電控制 系統規劃設計資料收集及國外大跨 度結構\_棚式煤倉之規劃、設計技術 實習

服務機關： 台灣電力公司營建處

姓名職稱： 賴昶嘉 電機設計專員  
朱珮潔 廠房設計專員

派赴國家： 瑞典、丹麥及德國

出國期間： 107.12.07~107.12.20

報告日期： 108.02.01

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

賴昶嘉:高效能供煤系統自動化儀電控制系統規劃設計資料收集及安裝施工技術實習

朱珮潔:國外大跨度結構\_棚式煤倉之規劃、設計技術實習

頁數 61 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

賴昶嘉/台灣電力股份有限公司/營建處/變電設計專員/(02) 23666965

朱珮潔/台灣電力股份有限公司/營建處/廠房設計專員/(02) 23666954

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：107/12/07~12/20

出國地區：瑞典、丹麥及德國

報告日期：108/02/01

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

本次實習課程從發電廠實際燃料卸儲作業(卸料機(Ship Unloader)、堆料機(stacker)、取料機(Reclaimer)等..)之控制系統及參訪國外大跨度結構,各種型式煤倉、生質燃料儲存倉庫,瞭解其各種倉庫之規劃設計與發電廠實際運維作業,作完整的資料搜集與經驗學習,對日後經辦類似工程提供寶貴參考經驗。

特別針對燃料卸儲設備與室內儲料場所之控制與監控系統及燃料倉庫型式作說明與資料收集,將有助於日後經辦類似工程之規畫設計,提出經驗回饋,此外參訪 Avedore 發電廠,針對其 1 號機由全燃煤機組轉型為全燃生質燃料機組,從而瞭解丹麥國家能源政策、轉型工程重點內容及燃料儲運等面向。本公司當前亦面臨國家能源轉型之際,該發電廠之成功轉型經驗,值得本公司借鏡。

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

# 目 錄

壹、	前言 .....	1
貳、	船運卸料設備製造廠商 Siwertell 公司參訪與工廠實習 .....	4
一、	Siwertell 公司簡介 .....	4
二、	螺旋式卸料機(Ship Unloader)之特性： .....	5
三、	Siwertell 螺旋式卸料機監控與控制系統介紹 .....	11
四、	螺旋式卸料機(Ship Unloader)製造工廠實習： .....	19
參、	Avedore 發電廠設備及倉庫參訪實習 .....	21
一、	電廠介紹 .....	21
二、	倉庫結構型式介紹 .....	26
1.	戶外煤場 .....	27
2.	筒倉 .....	28
3.	棚倉 .....	31
肆、	堆料機、取料機及輸送設備製造廠商 Schade 公司參訪 .....	35
一、	Schade 公司簡介： .....	35
二、	Schade 對本公司台中發電廠室內煤倉工程辦理情形： .....	36
三、	煤倉結構型式說明 .....	39
四、	高效能煤倉控制系統 .....	48
伍、	Electrabel Rodenhuize 發電廠設備及倉庫參訪實習 .....	52
陸、	結論 .....	60

## 壹、前言

台中火力發電廠為符合民國 105 年1 月26 日「臺中市公私場所管制生煤及禁用石油焦自治條例」第六條規定：「本市轄內之生煤堆置場所，自中華民國一百零七年十二月三十一日起應以封閉式建築物為限」，因此需將台中發電廠既有之儲煤場全面室內化；另考量現有儲煤場為露天煤場，若遇雨恐發生無法供應乾煤或部分設備因濕煤跳機之困擾，故有興建室內煤倉之必要。

台中發電廠既有室外煤場以防風柵網範圍估算面積約有68公頃(807m x 850m)，有效儲煤容量為228萬公噸，現因「臺中市公私場所管制生煤及禁用石油焦自治條例」第三條規定：「自本自治條例公布日起四年內減少生煤使用量百分之四十」，目前台中火力發電廠有十部機組，室內煤倉之容量規劃以6部機36填平均用煤量105萬公噸以上來規劃，故室內煤倉採用2座棚式煤倉，儲煤量各為55萬公噸及60萬公噸，故計115萬公噸，可符合電廠之105萬公噸之營運需求，2座煤倉尺寸分別為長度500m及550m，寬度為110m，為跨度相當大之結構物。

「台中發電廠 1~10 號機供煤系統改善工程」為營建處首次辦理之煤倉工程，相關的大跨度燃料倉庫之結構規劃設計與設備安裝皆未有經驗，特派員至相關設備設計製造工廠實習，以瞭解設備製造廠商之設計原理、加工製造工廠之生產品管流程及結構物與設備間

之選用，另外參訪兩座以木質能燃料發電電廠，實際體驗發電廠燃料的卸除、儲運、取料及輸送等相關作業，進而了解其相關維護操作流程。

本次實習是依據發電廠實際燃料卸儲作業流程規劃，首先至位在瑞典的船運卸料設備製造廠商 Siwertell 公司設計部門參訪，學習最新螺旋式卸料機(Ship Unloader)的設計原理及運轉特性，並赴該公司製造生產工廠實習。另透過 Siwertell 公司在丹麥哥本哈根 Avedore 發電廠之工程實績，安排至 Orsted 企業集團所屬之 Avedore 發電廠參訪，見證發電廠操作人員對 Siwertell 公司所生產設備高度讚許。緊接至燃料堆取設備製造廠商 Schade 公司設計部門參訪，學習各式燃料堆取設備的運轉特性並根據現場條件選用高效率之機型。另安排至 Electrabel Rodenhuize 火力發電廠及 RWE 集團所屬 Westfalen 儲煤場，實習各式堆煤設備及取煤設備之操作運轉。

為因應營建處首次辦理之台中發電廠室內煤倉工程，本次參訪實習的主要目的在於了解煤倉基本架構及其控制與監控系統，吸取實際設計員或操作員經驗，進而提高整體供取料效益。

此外為因應丹麥 2023 年前達成零煤發電之國家能源政策目標，Orsted 集團於 2015 年將 Avedore 火力發電廠兩部機組從全燃

煤機組逐步轉型成全燃木質能(Wood Pellets)機組。從燃料卸儲設備的觀點而言，煤碳與木質能(Wood Pellets)燃料所採用的設備幾乎相同，差別在於 Wood Pellets 必須乾燥儲存，所以只能存放於室內，在此次參訪過程中 Avedore 火力發電廠與 Electrabel Rodenhuize 火力發電廠皆具備煤碳與 Wood Pellets 雙燃料運作之特點。本公司目前亦面臨非核減煤的國家能源政策，為達成減少 NO<sub>x</sub> 排放量與降低總體碳排量的目標，前述兩發電廠的成功案例值得本公司參考。

## 貳、 船運卸料設備製造廠商 Siwertell 公司參訪與 工廠實習

### 一. Siwertell 公司簡介

Siwertell 公司在瑞典 Bjuv 鎮於 1972 年創建，為船運進卸料設備製造商，在全球已有超過 400 台設備運轉實績，在台灣有 17 台設備運轉中，廣泛應用於煉鋼、石化、水泥及發電業，Siwertell 公司在各個不同的工業領域，提供完整的處理系統。

本公司興達發電廠於 2007 年起採用 2 台該公司大型螺旋式卸料機卸煤，由於運轉績效卓著，安裝於本公司興達發電廠 2 台設備已成該公司形象廣告之最佳典範。



圖 1 參訪合照圖

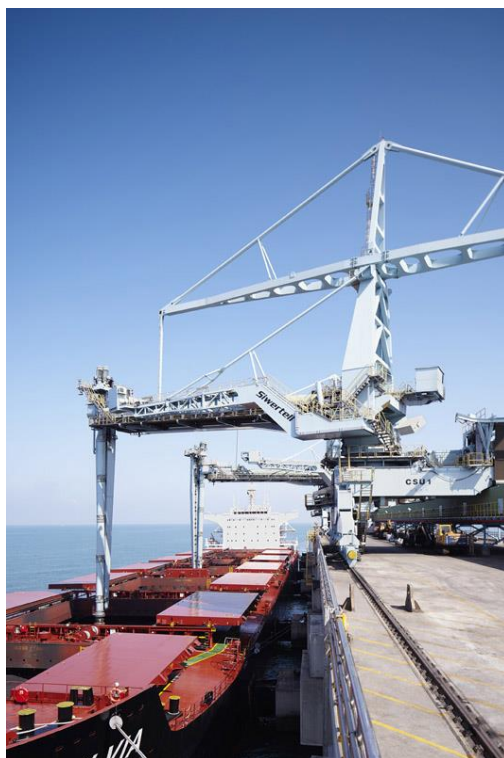


圖 2 本公司興達發電廠卸煤設備

## 二. 螺旋式卸料機(Ship Unloader)之特性：

世面上主流之卸料機可分成鍊斗式(Bucket-chain)、抓斗式(Grab type)及螺旋式(Screw type)等三種。



圖 3 鍊斗式卸料機





圖 4 抓斗式卸料機



圖 5 螺旋式卸料機

而螺旋式卸料機亦為 Siwertell 公司主力產品，卸料方式藉由垂直螺旋取料上昇後轉換成皮帶機水平輸送之技術，卸貨能量大，適用範圍廣，諸如裝載粉狀物，豆類或塊狀煤之大型輪船，均可卸貨，目前最大卸貨能量為 2,400 噸/小時，興達卸煤碼頭購買的是 2,000 噸/小時，廠家型號為 ST-940 DOB。螺旋式卸料機相較於其他型式有下列優點：

(一) 高效率：

螺旋式卸料機是藉由螺旋葉片旋轉取料，可連續性供料至輸送皮帶，亦可隨著現場條件設定取料容量，可供料範圍較大。從圖 6 取料頭示意圖可知，取料頭旋轉方向與內部螺旋葉片相反，如此可提高取料效率(全船平均卸煤效率 $\geq$  70%)，此外根據該公司設計人員表示，取料頭之設計角度亦是維持高效率的核心技術之一。

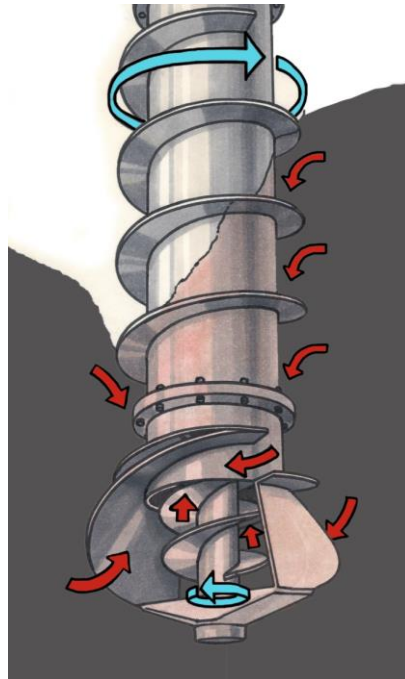


圖 6 取料頭示意圖



圖 7 卸料機自船艙取料照片

(二) 操作便利：

螺旋式卸料機因其機構設計具有 8 個方向移動之自由度 (degree of freedom) below，因此其取料頭能夠自由地伸入船艙內部各角落，使得殘留燃料量達最少，如圖 9 所示。



圖 8 螺旋式卸料機具有八個方向自由度特點

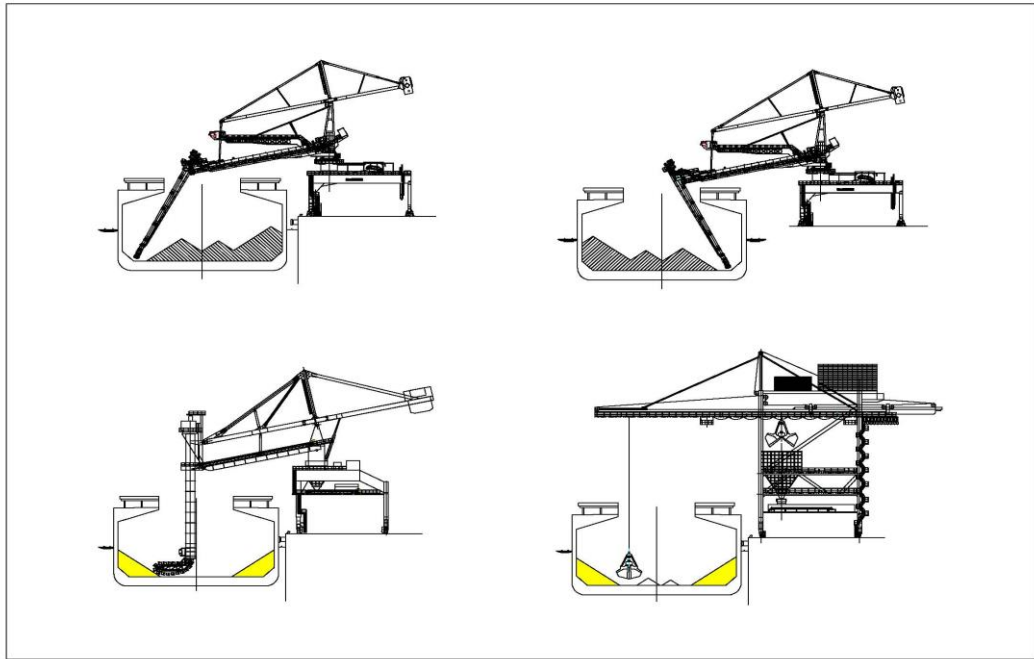


圖 9 螺旋式卸料機相較其他機型殘留燃料最少

(三) 友善環境：

螺旋式卸料機因其取料與送料過程皆在密閉管道內進行，在燃料輸送過程中較無溢漏之問題，能保持碼頭區環境整潔。



圖 10 抓斗式卸煤機易產生溢漏問題污染環境





圖 11 螺旋式卸料機在密閉管道輸送燃料對環境較友善

(四) 維修容易：

螺旋式卸料機唯一需定期維修更換磨耗元件為 OD

Bearing 如圖 10 所示位置，其維修更換容易。



圖 12 OD Bearing 外觀位置圖



圖 13 OD Bearing 內部可更換磨耗片

### 三. Siwertell 螺旋式卸料機監控與控制系統介紹

Siwertell 螺旋卸料機符合 ATEX EU 標準，適用於潛在爆炸性環境的設備和保護系統。

卸料前，Siwertell 螺旋式卸料機可在燃料進入取料頭之前，利用紅外線檢測貨艙中的發光餘燼和或熱源，亦可在控制室監測燃料的溫度，以避免因溫度升高而引起火源。若發現有前述情況發生，卸料機將立即停止。

卸料時，Siwertell 螺旋式卸料機若於取料過程中發生爆炸，因配有抑制爆炸的抑制系統，且其材料及設計符合 ATEX EU 標準，因此於卸料時之爆炸，不會對機器或操作員造成任何損壞。且取料機配備有檢測和保護系統並配有緊急出口，以便在檢測到熱或材料發生爆炸時可以清空輸送系統。用於防止傳播的火焰傳播到相鄰系統或設備。

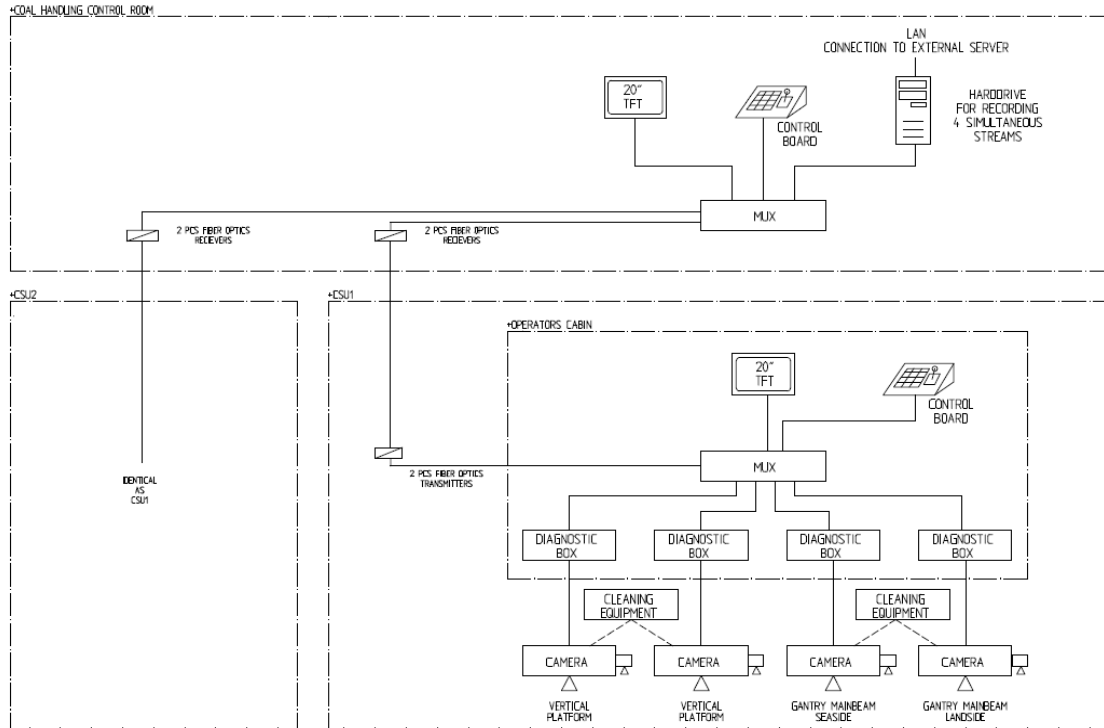


圖 14 監控系統圖

(一) 螺旋式卸料機電源與控制系統介紹：

卸料機所需電源，是由碼頭作業區電氣室透過電力電纜將電源連接至螺旋式卸煤機之高壓電氣室。由於螺旋式卸煤機在碼頭進行作業時，電纜長度會隨螺旋式卸煤機作業位置而改變，因此它須藉由一只電力電纜捲軸來調整電纜長度，高壓電氣室有一 6.9kV VCB，是螺旋式卸煤機的電源總開關，可兼做電氣維修隔離使用。6.9kV 系統經過乾式變壓器(6.9kV/480V 3500KVA)降壓後接至ACB提供給電氣室裡的 MCC、UPS、照明、加熱器及插座等負載使用。本系統亦可以連接來自外界之柴油機等電源作為緊急電源使用，惟該電源須以手動方式來做投入，正常電源與緊急電源間設有連鎖保護控制，以避免正常電源復電後兩電源同時投入Busbar。緊急電源僅提供給小型及重要負載如控

制電源、PLC、緊急油壓系統等作緊急shutdown使用。相關電源架構

請參閱電氣單線圖如圖15所示。

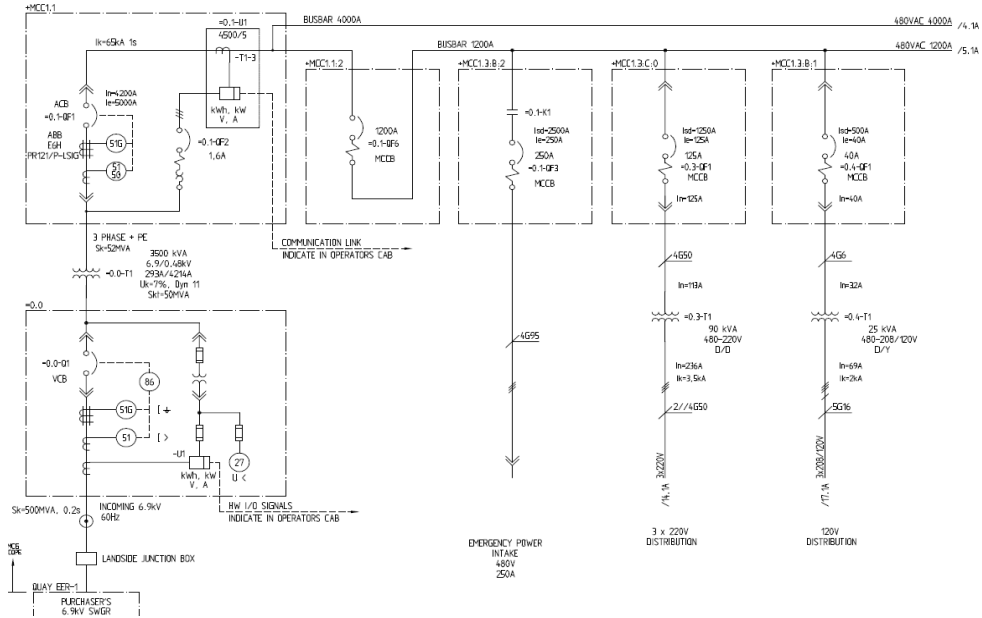


圖 15 電氣單線圖

## (二) 卸料機電氣室介紹

卸料機電氣室本身為絕緣設計，內設有 3 盤MCC分別為MCC1-1、MCC1-2、MCC1-3、可程式控制器PLC 盤及人機界面裝置HMI。有關電氣室設備配置詳如圖16所示。

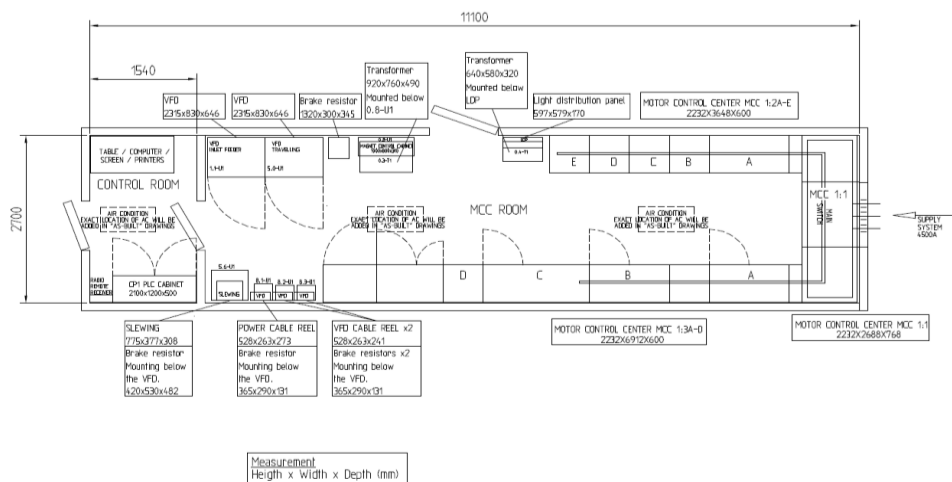


圖 16 電氣室設備配置圖



PLC 盤負責控制及監測卸料機所有的系統並提供各種”動作”功能，PLC 的組成包括有：輸入/輸出模組、CPU 中央處理模組、通訊模組及電源供應模組，前述三項模組採redundant 設計以確保卸料機操作過程中資料不會遺失。

卸料機本身另裝有高聲電話系統方便不同地方的使用者與煤場控制等地相互聯絡，其通訊設備設置地點如操作室、電氣設備室、電梯、ground elevation 及高壓電氣室之外側等區域。本系統當然也包含高聲喇叭，安裝於面海側及操作室外側。高聲電話系統所需電源來自UPS 供電系統，以避免電源中斷時遇緊急事件無法聯絡。

### (三) 動作系統

先前介紹螺旋式卸料機的動作系統，分別是移動(traveling)、轉動(Slewing)、上下擺動(Luffing)、擺錘(Pendulum)四種運動功能其動作示意圖如前圖8所示。

#### 1. 移動(traveling)

移動(traveling)位移動作可使卸料機沿著軌道移動到不同的船艙位置。當卸料機在無卸煤時可以在軌道上加速行駛以縮短行駛時間，其控制邏輯如圖17所示，Traveling 移動速度受防碰撞系統 (anti-collision system) 控制，當接收到collision protection 的信號後，可由控制室的控制桿及無線遙控器控制

卸煤機向左/向右移動或半自動模式時自動控制轉向。

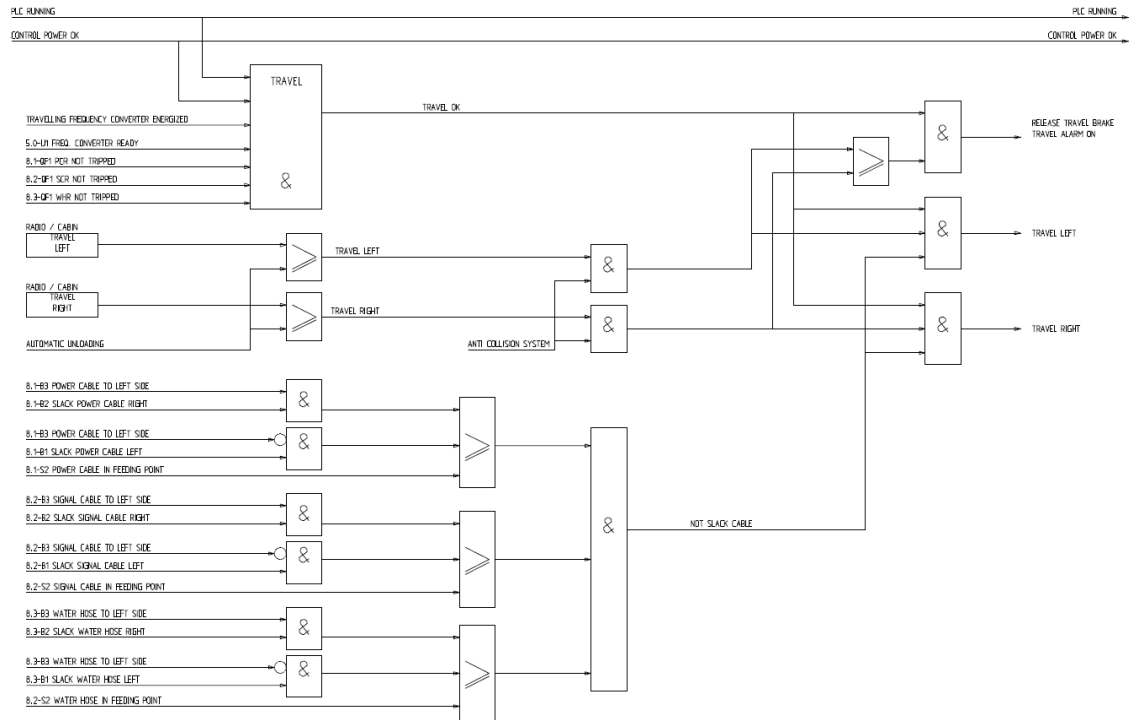


圖 17 移動(traveling)控制邏輯圖

## 2. 轉動(Slewing)

卸料機的上半部可以旋轉使進料器可以到達較大的水平區

域，最大的旋轉角度為 $\pm 120$ 度。其控制邏輯如圖18所示，當接收到碰撞保護(collision protection)的信號後，水平臂可由控制室的控制桿及無線遙控器控制向左/向右旋轉或半自模式時自動控制轉向，PLC 的AI模組會接收編碼器的角度信號，並比較是否超過設定值旋轉角度 $\pm 120$ ，此時馬達才會被啟動達到轉動(Slewing)的目的地。

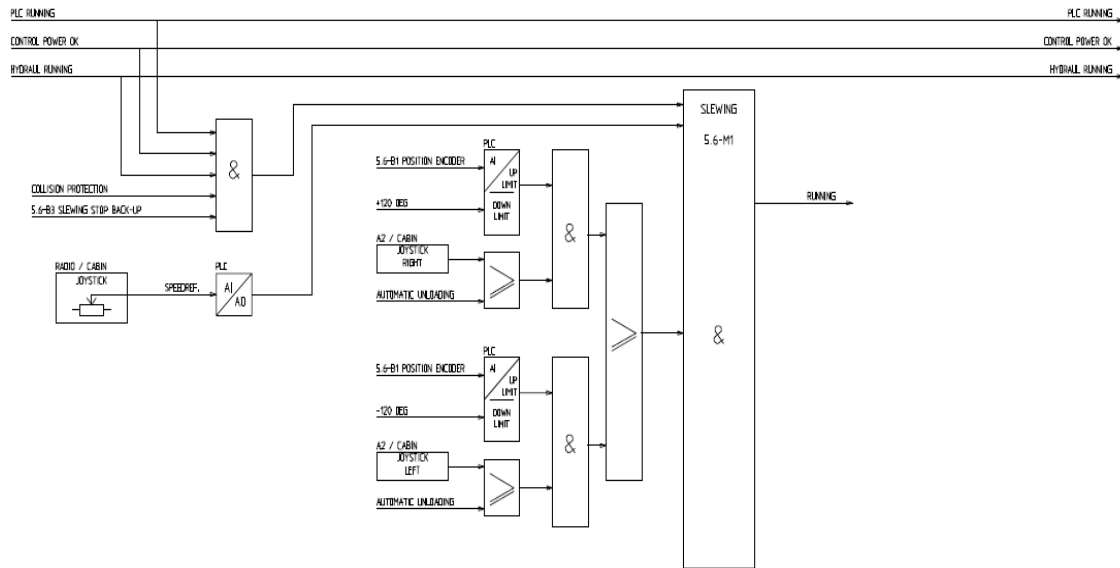


圖 18 轉動(Slewing)控制邏輯圖

### 3. 上下擺動(Luffing)

上下擺動(Luffing) 位移動作可使水平臂向上或向下移動，克服煤輪在海平面上的垂直移動。其控制邏輯如圖19所示，水平臂的向上/向下移動是由水壓設備趨動達成，因此上下擺動(Luffing)之前，必須先接收到水壓運轉(Hydraulic Running)的信號及裝置在水平臂上的雷射感測器(laser sensor)其用來監測碰撞區域並將信號傳送到PLC 以確保水平臂不會發生碰撞。此外 Luffing 的角度感測器會將信號送到PLC 之類比信號模組，並與設定參考值比較是否在設定範圍內使水平臂操作在限制角度內。

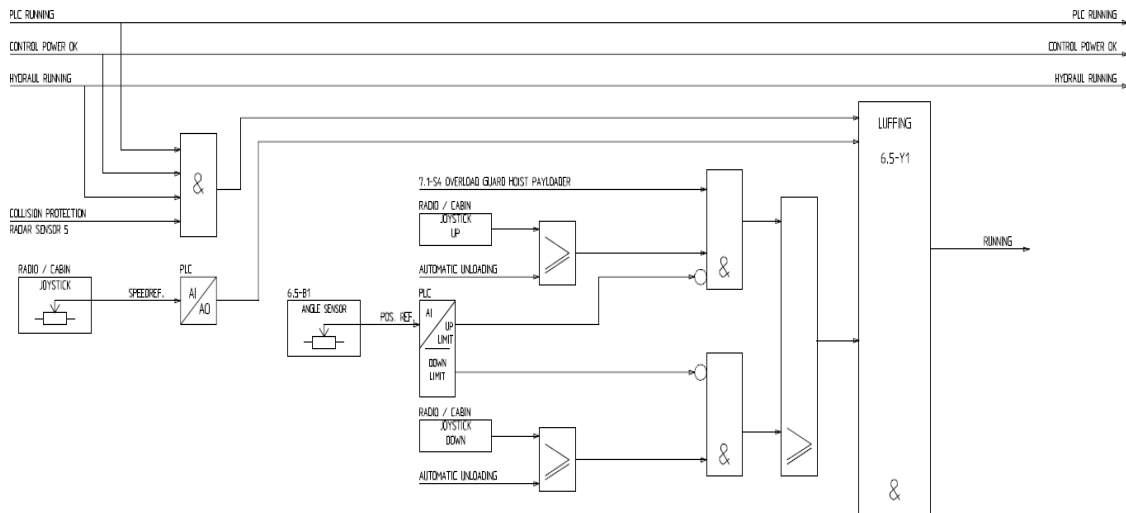


圖 19 上下擺動(Luffing)控制邏輯圖

#### 4. 擺錘(Pendulum)

擺錘位移動作可使垂直臂向外或向內移動，使進料頭在船的水平區域移動並可移動到艙底較隱蔽的區域。向外或向內移動的角度為垂直面約+18 度至-35 度之間，其控制邏輯如圖20 所示，擺錘之前，必須先接收到水壓運轉(Hydraulic Running)的信號及裝置在垂直臂上的雷射感測器其用來監測碰撞區域並將信號傳送到PLC 以確保垂直臂不會發生碰撞，此外擺錘(Pendulum)的角度感測器會將信號送到PLC 之類比信號模組，並與設定參考值比較是否在設定範圍內使垂直臂操作在限制角度內。

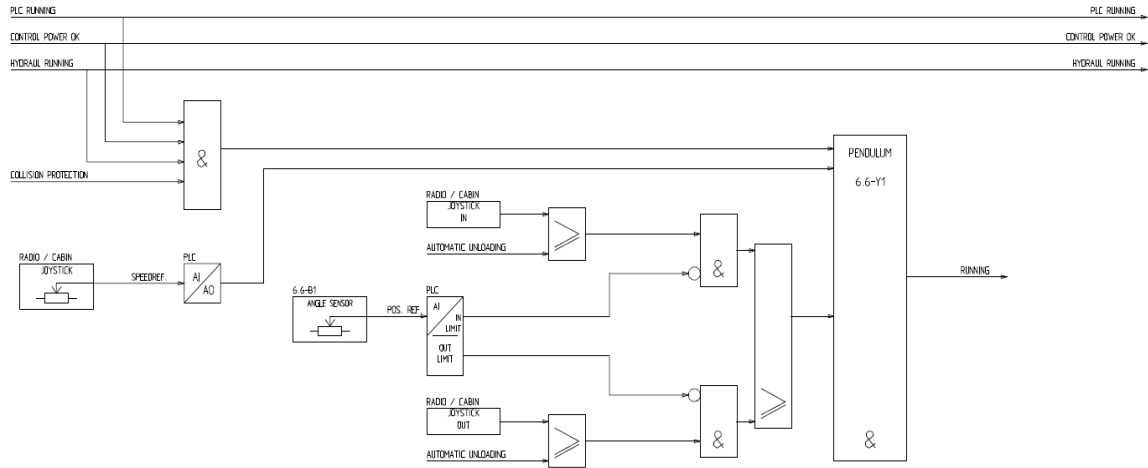


圖 20 擺錘(Pendulum)控制邏輯圖

#### (四) 防碰撞系統

此防碰撞系統可以防止卸煤機的垂直螺旋臂碰撞到船上的物件抑或是防止撞到別台卸煤機的水平臂，以及防止在移動(Travleling)過程中撞上另外一台卸煤機。有四個雷射感測器(laser sensor)安裝在垂直臂的每一邊，第五個雷射感測器安裝在水平臂的下方，當水平臂上下擺動(Luffing)的角度太大時這個雷射感測器用來防止水平臂撞上船艙口。每一個雷射感測器會感測三個區域，一為碰撞偵測，其餘二個為卸煤機到達碰撞前的低速偵測。在低速區時，卸煤機的所有方向的移動(Travelling)及轉動(Slewing)速度會被減慢至參考設定值，一直到卸煤機離開低速區為止。而水平臂的上下擺動(Luffing)速度及垂直臂擺錘(Pendulum)速度則不受此減速的限制。每個雷射感測器有三個輸出埠連接到PLC 系統的輸入埠，將三個區域的數位信號傳送到

PLC。為預防這些雷射感測器因振動遭受損害，另有安裝振動感測器(Vibration sensor)，當振動幅度太大時，時此動感測器會動作產生警報信號送到PLC 顯示在中央控制室。防撞區域規畫有1到2公尺的安全距離，考量操作安全性，低速區在2 公尺前就會被啟動。當卸煤機進入到碰撞區時在操作室的指示燈會亮起，所有在碰撞區的的活動皆會被互鎖，反之亦然，當進入到低速區時，指示燈會閃爍亮起，同時警報在HMI 會顯示卸煤機進入到那個區域。另碰撞系統可以被在操作室內的開關所啟閉。

#### **四. 螺旋式卸料機(Ship Unloader)製造工廠實習：**

目前 Siwertell 公司製造工廠僅生產螺旋葉片、取料頭、OD Bearing 及整合控制系統等關鍵零組件，其他如鋼構部分則與專案工程當地工廠合作方式運作，以提升整體產品競爭力。以本公司興達發電廠工程及未來台中發電廠煤倉工程為例，該公司既與經其認證授權之台灣鋼構廠商合作，如此不僅可降低生產成本亦可達到公共工程採購，促進國內工業合作增進國內就業機會的政策美意。

本次工廠實習可配合該公司螺旋葉片加工生產線做參訪。因整體螺旋桿在旋轉時，有極大的旋轉力，若焊接品質不量，在卸料機械料時，會引起震動，進而影響整體設備甚至損壞，因此焊接組裝過程中需特別留意螺旋葉片與軸心。因長時間焊接恐而產生熱影響

與變形問題，故特別採用跳焊工法來避免變形問題產生，如圖 21 所示。

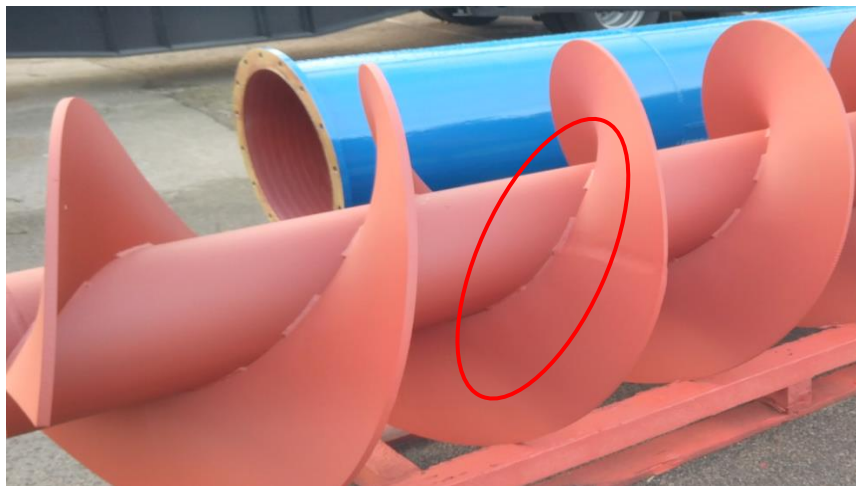


圖 21 旋葉片與軸心採跳焊工法避免變形

由於螺旋葉片在旋轉過程中以圓周區切線速度最快，因此其與燃料產生的磨損亦最大，為增加螺旋葉片的使用壽命，便在圓周區施以焊接被覆硬化層工法，如圖 22 所示，達成抗磨耗增加使用年限的目的，目前 Siwertell 公司對其生產之螺旋葉片保固使用年限為 10,000 小時以上，意即平均卸載能力為 1000 噸/小時，相當於可保固卸載約 1000 萬噸。



圖 22 螺旋葉片圓周區施以焊接被覆硬化層工法

## 參、 Avedore 發電廠設備及倉庫參訪實習

### 一、 電廠介紹

此次實習透過 Siwertell 公司安排至丹麥 Orsted 企業集團所屬之 Avedore 發電廠參訪，該電廠原共有 2 部燃煤發電機組，Avedore 發電廠 1 號機組（250MW）先前是使用燃煤作為主要的燃料來源，2 號機組（525MW）先前是燃氣機組。為響應丹麥政府於 2023 年前達成零煤發電之國家能源政策，Orsted 企業將其中 1 號機於 2015 年完成由全燃煤機組轉型為全燃生質能機組，主要生質燃料為麥桿(straw)與木顆粒(Wood Pellets)，由於煤碳與生質燃料其熱值與比重不同，故必須更換鍋爐之 Burner 與原磨煤機設備，燃煤之 Burner 溫度高於燃生質能，其餘多數設備並無差異。經洽電廠人員表示，本 1 號機是由日本三菱日立公司改造使其能夠燃燒 100% 的木質燃料，總花費約 35 億新台幣。木質燃料另一方面的優勢為 NOx 排放量可減少約 40%，並降低總體碳排量。



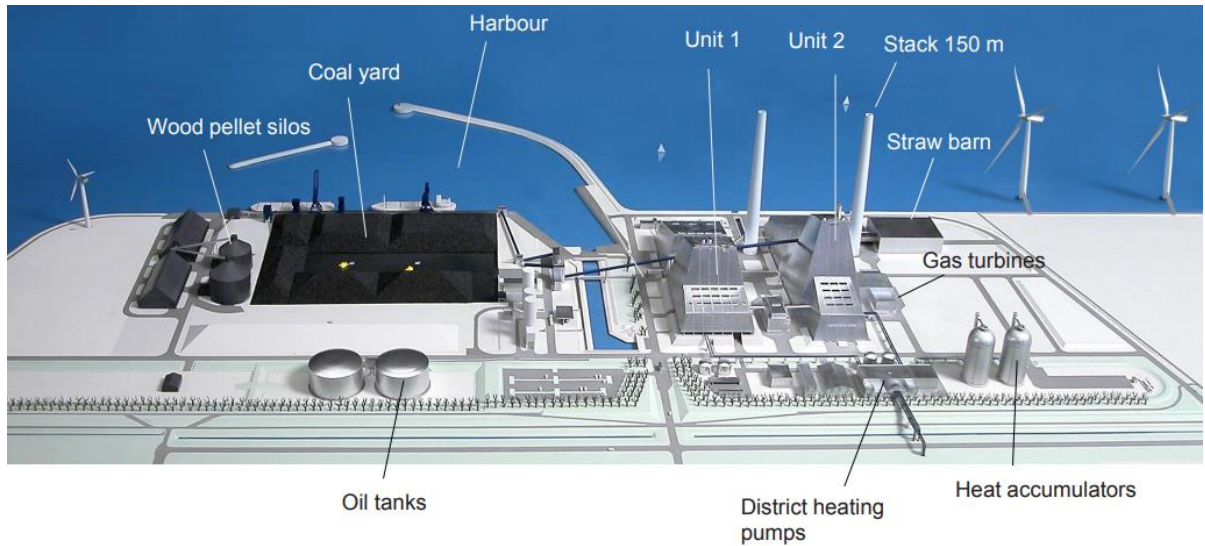


圖 23Avedøre 發電廠配置圖



圖 24Avedøre 發電廠 1 號機組模型

此發電廠兩組鍋爐仍能以 100% 能量燃燒煤炭。由於稅收和補貼的獎勵措施，Orsted 電廠決定其工廠必須使用 100% 生物質或 100% 煤炭。因此目前此兩部主要皆使用木質燃料來做為發電燃料，煤

炭則被保留用於緊急的情況。且由於丹麥緯度高，氣溫低，熱水需求大，該電廠將發電後的熱水，提供給整個丹麥市區民眾，收取額外收入，且據電廠人員表示，熱水的收入高於發電，因此，此電廠在夏季閒置的期間進行相關維護工作。



圖 25Avedøre 發電廠控制室

由於木質燃料的鉀離子使 SCR 催化劑在燃燒時，失去活化速度比煤更快。且燃燒後所產生的灰分具有較低的灰熔點溫度，其將造成鍋爐結渣和腐蝕，Avedøre 電廠在研磨時將 3% 的煤炭飛灰添加到木質燃料中，或直加進入鍋爐以增加催化劑活性。

燃燒化學式： $2KCl + Al_2O_3 + nSiO_2 + H_2O \rightarrow K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2 + 2HCl$

由於生物質的總灰分含量低，3% 的煤炭飛灰添加量佔燃燒後總飛灰含量的 25%。加入煤炭飛灰以結合鉀並釋放氯化氫 HCl。使用其他

材料也能達到此功能，但 Avedore 電廠利用既有之煤炭飛灰，因此符合經濟效益。燃燒後的二次飛灰 (SFA)，Avedore 電廠根據 EN 12620 Aggregate for Concrete 銷售其 SFA 作為填充材料。而燃燒後之二次底灰 (SBA) 具有高含量的未燃燒或熱解生物質。此外，它的含水量高。材料中仍有剩餘能量約為 2-6 MJ/kg, ar。該材料可用作替代燃料，替代原料或填土材料。此外，如果通過化學反應處理，它可以做為肥料。



圖 26Avedore 發電廠底灰收集區





圖 27 Avedore 發電廠稻稈燃料存放區

Avedore 發電廠使用抓斗式卸料機和螺旋式卸料機。抓斗型卸料機較易引起粉塵及溢出物料，造成碼頭上有散落物料現象。

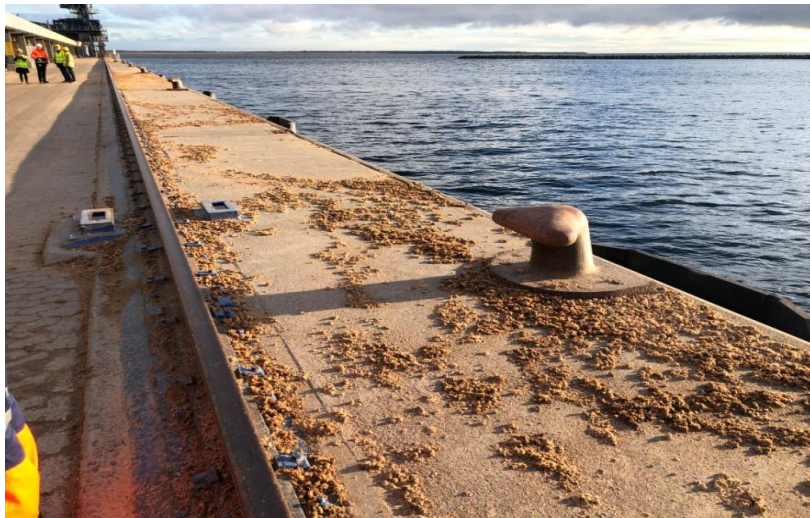


圖 28 Avedore 發電廠卸料碼頭(抓斗式)

Siwertell 螺旋式卸料機在卸載物料比起抓斗式卸料機更加的優化，物料掉落地面的現象或是粉塵逸散的問題相對減少。圖 29 為經過 5,000 小時以上操作之螺旋式卸料機之卸料頭。



圖 29 Siwertell 螺旋式卸料機之卸料頭

## 二、 倉庫結構型式介紹

隨著工廠多年來的發展和燃料來源的改變，存儲和輸送系統並未針對自動和先進/先出的操作理念進行優化。該工廠有一個開放式煤場、2 個筒倉(silo)及 2 個 A 型煤倉(圖 30)。



圖 30 廠區倉庫佈置圖



## 1. 戶外煤場

室外煤場尺寸約為 250m x 280m，可儲存 500,000 噸煤，圖 31 顯示了前區的灰料和中間地區的煤炭，露天煤場與有蓋之煤倉相比，其顯著之優點如下：

1. 由於不暴露在陽光下，減少了煤的自燃。
2. 庫存中的粉塵排放量最小。
3. 沒有空氣污染。
4. 消除降雨和潮濕問題
5. 防止煤炭總熱值（GCV）的損失

惟 Avedore 電廠估計煤炭將持續使用到 2022 年，屆時煤炭將會完全被淘汰，故並未考量將煤炭設置於室內。



圖 31 Avedore 發電廠露天物料存放場

## 2. 筒倉

電廠設置筒倉分為 1 號筒倉及 2 號筒倉，1 號筒倉直徑為 70m，高度為 45m，容量為 100,000m<sup>3</sup>，2 號筒倉直徑為 30m，高度為 30m，容量為 25,000m<sup>3</sup>，用於太陽花殼和木質顆粒的儲存。筒倉下方設有鏈式輸送機，以供燃料予發電機。電廠選用筒倉之特點為其佔用之土地面積較小，單位面積儲煤量最高，倉庫為全密閉式，無塵粉污染之慮。

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)，而本次參訪之電廠採用 Eurosilos，將物料從倉頂進倉，再由取料螺旋輸送機於倉底取料。本公司近年來林口及大林電廠更新改建計畫採用 silo 型式則為採用日本系統之「先進先出」silo。兩種系統之煤倉皆為倉頂進料，倉底出料，僅為進出料之方式有所不同，並無優劣之分，需考量各電廠條件不同及需求做選擇。

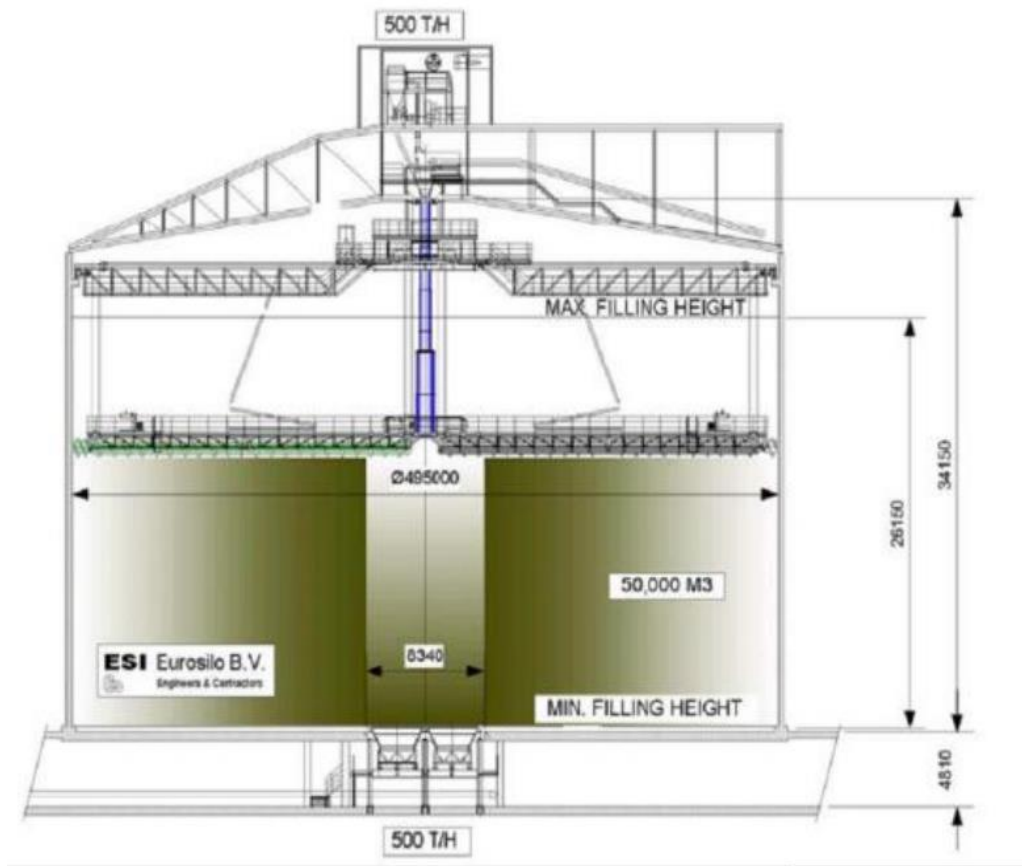


圖 32 筒倉斷面示意圖



圖 33 前為 1 號筒倉後為 2 號筒倉





圖 34 Avedore 發電廠筒倉(木質顆粒)



圖 35 取料過程之凹洞痕跡(木質顆粒)

### 3. 棚倉

棚倉分為 2 座，尺寸為 78m x 37m，容量為 28.500m<sup>3</sup>，用於木質顆粒的儲存，為長期儲料之鋼構倉庫。棚倉頂端由堆料機(Tripper car)堆料，其物料再由 ATEX 防爆型鏟裝機進行卸載。因倉庫內部僅有倉頂之堆料機，當初並未考量設置出料之設備及皮帶機，且設置之倉庫容量較小，故於設計此倉庫時，除需考量建築物之基本載重外，另需考慮堆料機之設備所引致之載重。

Avedore 電廠考量堆料機在進行堆料作業時所產生的粉塵會有爆炸的風險，並在鏟裝機上安裝一部粉塵監視器，以檢測粉塵是否濃密到足以造成爆炸程度。電廠人員表示，即使粉塵在視覺上對人眼來說相當厚，但仍不夠濃密，不易引起爆炸，比預期還要安全。

圖 36 為世界首款客製化的 ATEX 防爆型鏟裝機(caterpillar front end loader)。它的用途是從棚倉中取出木質顆粒並傾倒入料斗，該料斗供料給全密閉式輸送系統。



圖 36ATEX 防爆型鏟裝機



圖 37 棚倉外觀





圖 38 棚倉內部堆料狀況

棚倉的卸料方式則由 ATEX 防爆型鏟裝機卸載，該鏟裝機將物料卸至料斗，然後由全密閉式輸送帶進行輸送。由於拖鍊(drag chain)和堆料機無法完全清除木質顆粒(存在死角)，因此餘料在存儲區中可能會有高溫自燃的風險，故 Avedore 電廠每年須手動清理一次存儲區。電廠人員認為使用筒倉較棚倉便利，當初設計棚倉時未設計皮帶機以供出倉，故電廠之規劃設計整體性之考量是很重要的。



圖 39 全密閉式輸送系統

## 肆、堆料機、取料機及輸送設備製造廠商 Schade 公司參訪

### 一. Schade 公司簡介：

該公司最早創建於 1879 年，為全球堆取料機製造之先驅，其專業團隊可為客戶依現場環境條件量身設計堆取料機設備。自 1980 年起，在台灣已有 36 套堆取料設備廣泛應用在各產業中。取料機(Reclaimer)型式可分為門式(Portal type)、半門式(Semi- Portal type)、橋式(Bridge type)、圓形(Circular type)、輪斗式(Wheel type)。其中，刮煤機之選用主要考量要素，包括：儲倉型式(煤倉配置、倉庫容量)、刮煤速率及造價成本。於設計上需要注意刮煤機軌道規格及接續式、卸料機落料位置及維修通道配置。



圖 40 全門型取料機適合應用於戶外儲煤場



圖 41 半門型取料機適合應用於室內儲煤場



圖 42 圓型取料機適合應用於圓型室內儲煤場

## 二. Schade 對本公司台中發電廠室內煤倉工程辦理情形：

Schade 公司負責台中發電廠室內煤倉工程之專案經理對本案辦理情形做說明，本案將設置 4 台容量 2000 噸/小時之半門型取料機，另設 4 台容量 4400 噸/小時之堆料機(Tripper Car)，目前規劃時程為 2019 年 1~5 月為設計階段，6~10 月為製造階段，



2020 年 1 月起可陸續運抵現場，據專案經理表示從接獲訂單至交貨約需時 1 年。有關鋼構部分則與前述卸煤機之模式相同，與經其認證授權之台灣鋼構廠商合作，達到前述雙贏效果。

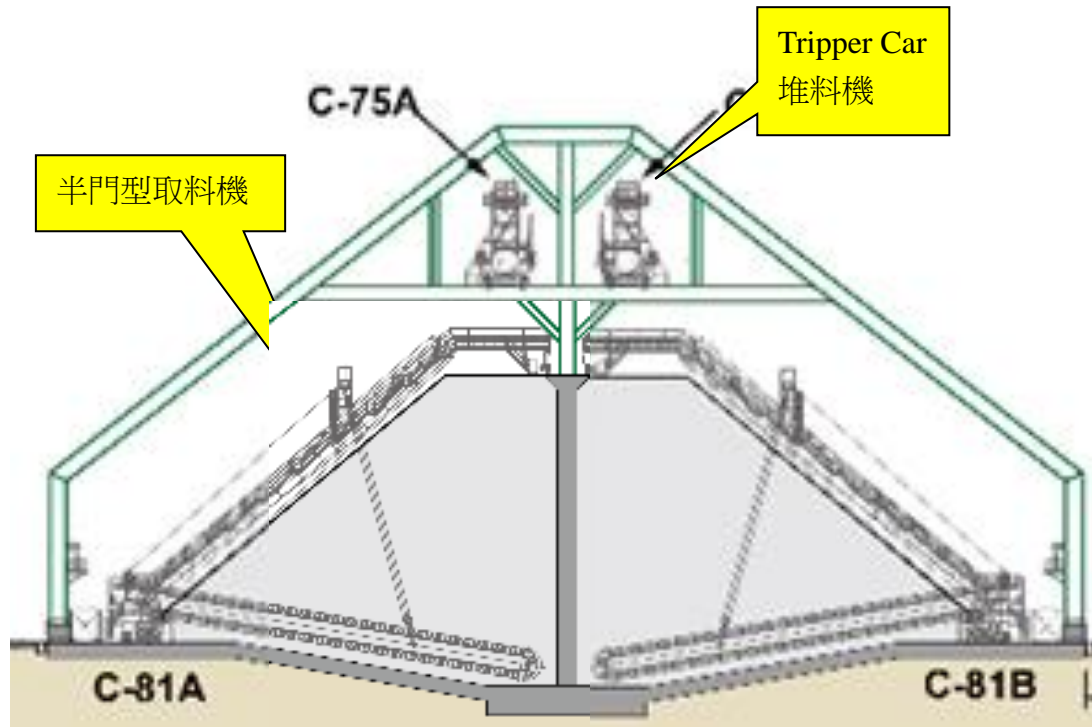


圖 43 室內儲煤場剖面圖

堆料機(Stacker)可分成俯仰式及 Tripper Car 型式等兩種，如圖 44 俯仰式較適合戶外堆料場；圖 45 Tripper Car 堆料機較適合室內堆料場。俯仰式堆料機的優點為其仰角可隨燃料堆置高度調整，較不易引起嚴重揚塵現象，對環境較為友善。Tripper Car 堆料機的優點為其可於建築物屋頂結構合併設計以節省地面空間，惟因其進料時從屋頂層直落而下，易引起嚴重揚塵現象，如此極易使室內環境達到粉塵爆炸濃度，因此必須有其他抑塵措施，確保運轉安全。





圖 44 俯仰式堆料機較適合戶外堆料場



圖 45 Tripper Car 佈料機較適合室內儲料場



圖 46 Tripper Car 佈料機進料時引起極大揚塵現象

### 三. 煤倉結構型式說明

台中發電廠將興建 2 座跨度 107m，高度 53.4m，長度分別為 500 及 550m 之棚倉，結構型式由煤倉牆及棚架組成，其中煤倉牆包含中間牆及分倉牆。

經優化煤倉牆及鋼構棚倉結構型式後，台中煤倉原採用部分共構結構型式改為採用全共構式煤倉設計，以獨立式、部份共構式及全共構式三種結構型式先作比較說明，其比較表如表 1 所示。

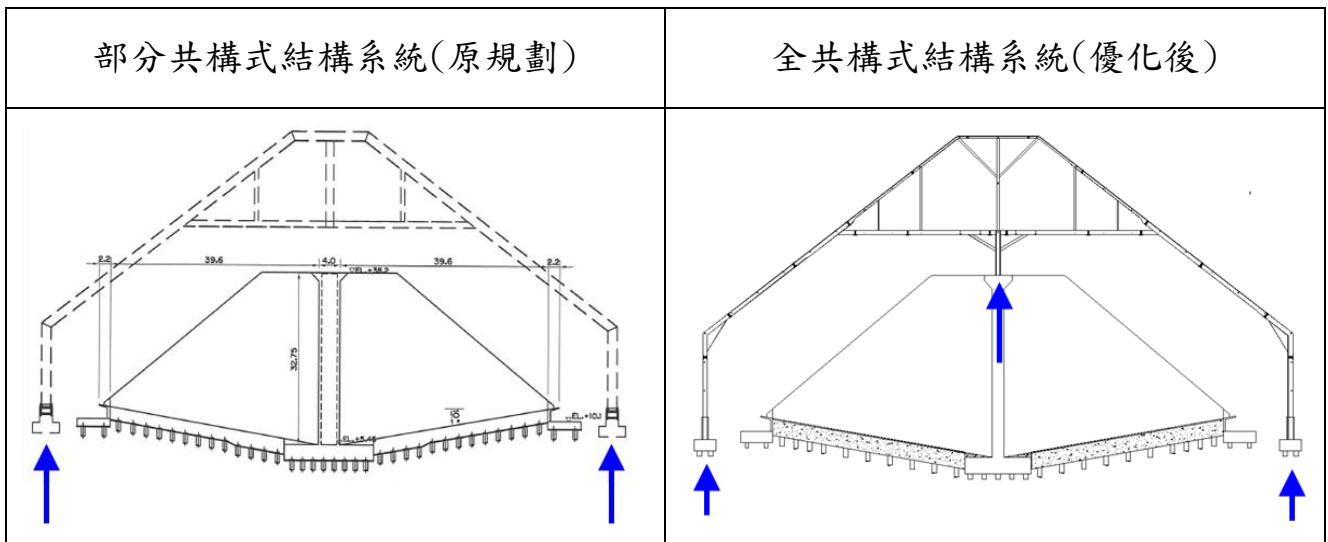
若採用鋼構棚架與煤倉牆分開之獨立式煤倉，佈煤機設置於煤倉牆上之支撐平台，其鋼構棚架跨度為 107m，所需之鋼重為最重，因佈煤機力量完全由煤倉牆承受，煤倉牆牆底所受力量為最大，結構性佳且棚架及牆可分開施工，施工性佳，惟其工程費最高。

若採用部分共構型式煤倉，棚架鋼結構與煤倉牆土木結構分離，結構系統明確，佈煤機設置於鋼構棚架上之支撐平台，鋼構棚架其跨度為 107m，而所需鋼重次重，煤倉牆牆底所承受力量最小，其施工性較優，且工程費適中。

若採用全共構式煤倉，其鋼構棚架及煤倉牆須一併施工，結構性最優，跨度為兩跨各 55m 且鋼重最小，煤倉牆牆底受力

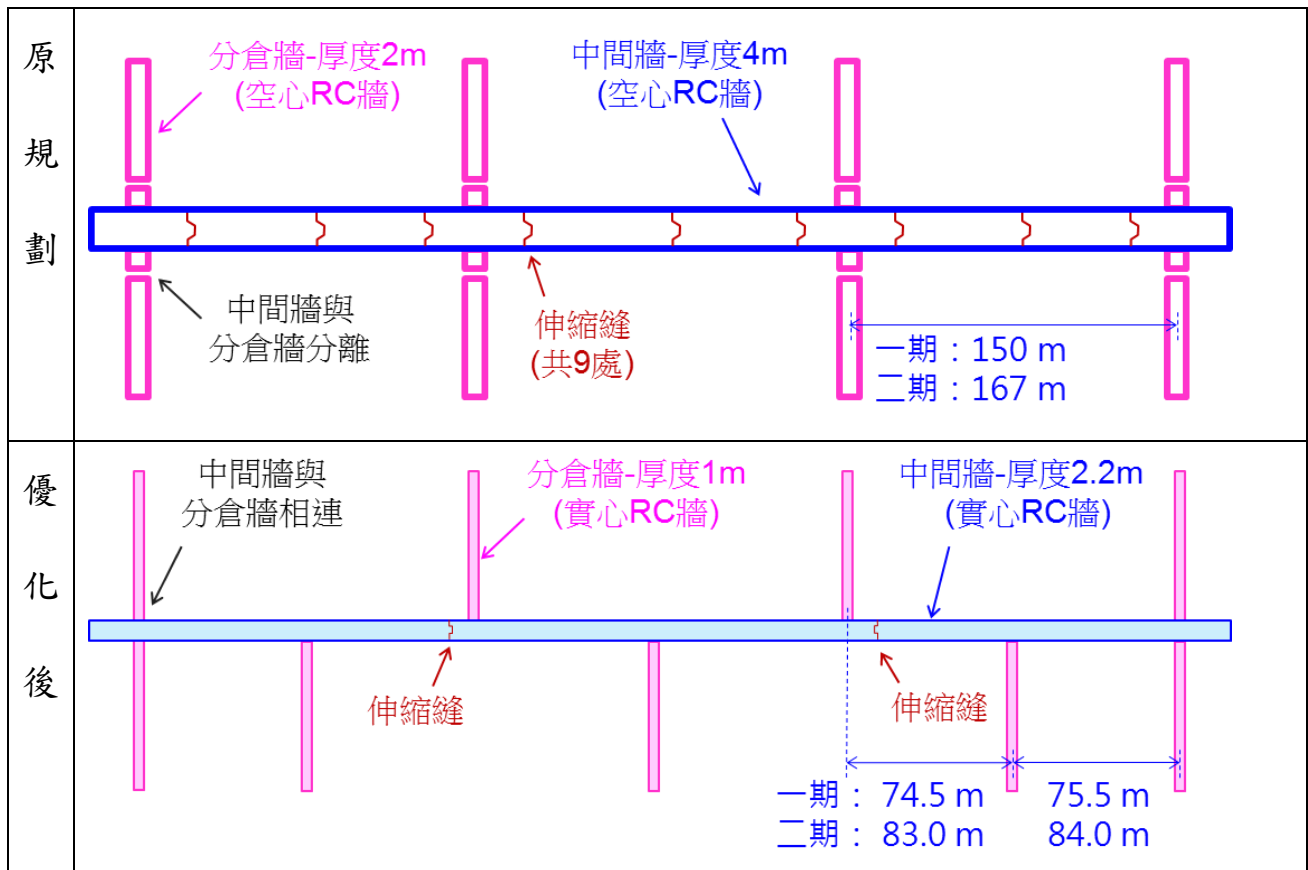
次之，工程費為最低，工期雖最長，故採用增加施工面方式克服工期，目前規劃中間牆基礎採跳島式施工，中間牆體施工使用系統模版施作，由一側啟動施工，擴展二個工作面同步施工。

另再進一步研究部分共構式及全共構式結構系統，依部分共構式結構型式，其頂蓋力量全部由鋼構棚架基礎承受；若採用共構式結構型式，其頂蓋力量由鋼構棚架基礎及中間牆基礎共同分擔，且靜不定度較高，可有效降低鋼重，力量分佈如下。



關於中間牆及分倉牆之結構系統亦進行優化，原煤倉內每側採等間距分佈設置 4 道分倉牆，中間牆因設置 9 處伸縮縫而將中間牆及分倉牆分割為各 10 個獨立單元，其力量為單元中間牆來承受，而分倉牆為懸臂結構，力量全由分倉牆承受，故分倉牆與中間牆個別作用，力量無法互相傳遞，其應力行為較單純可個別分析。優化後，將煤倉內分倉牆採交錯配置，中間牆設

置 2 處伸縮縫，分割為 3 個連續之牆體，可縮短中間牆之側向支撐距離，惟應力行為較複雜，需藉由 3D 模型分析、驗證，其中間牆及分倉牆牆體結構配置可參考下圖。



中間及分倉牆基礎結構目前亦與原有規劃有所不同，原規劃分倉牆基礎與中間牆基礎為分離，故分倉牆基礎與中間牆基礎個別作用，力量無法互相傳遞，分倉牆基礎需採變斷面(變化基礎寬度)來傳遞應力，而中間牆基礎設置 2 處伸縮縫，力量亦無法互相傳遞，其應力行為較為單純；而優化後採用分倉牆基礎與中間牆基礎相連，共同分擔牆體傳遞之力量，且中間牆基礎

不設置伸縮縫，力量可相互傳遞，惟應力行為較複雜，需藉由

3D 模型分析、驗證，其中間牆及分倉牆牆體結構配置可參考下

圖。

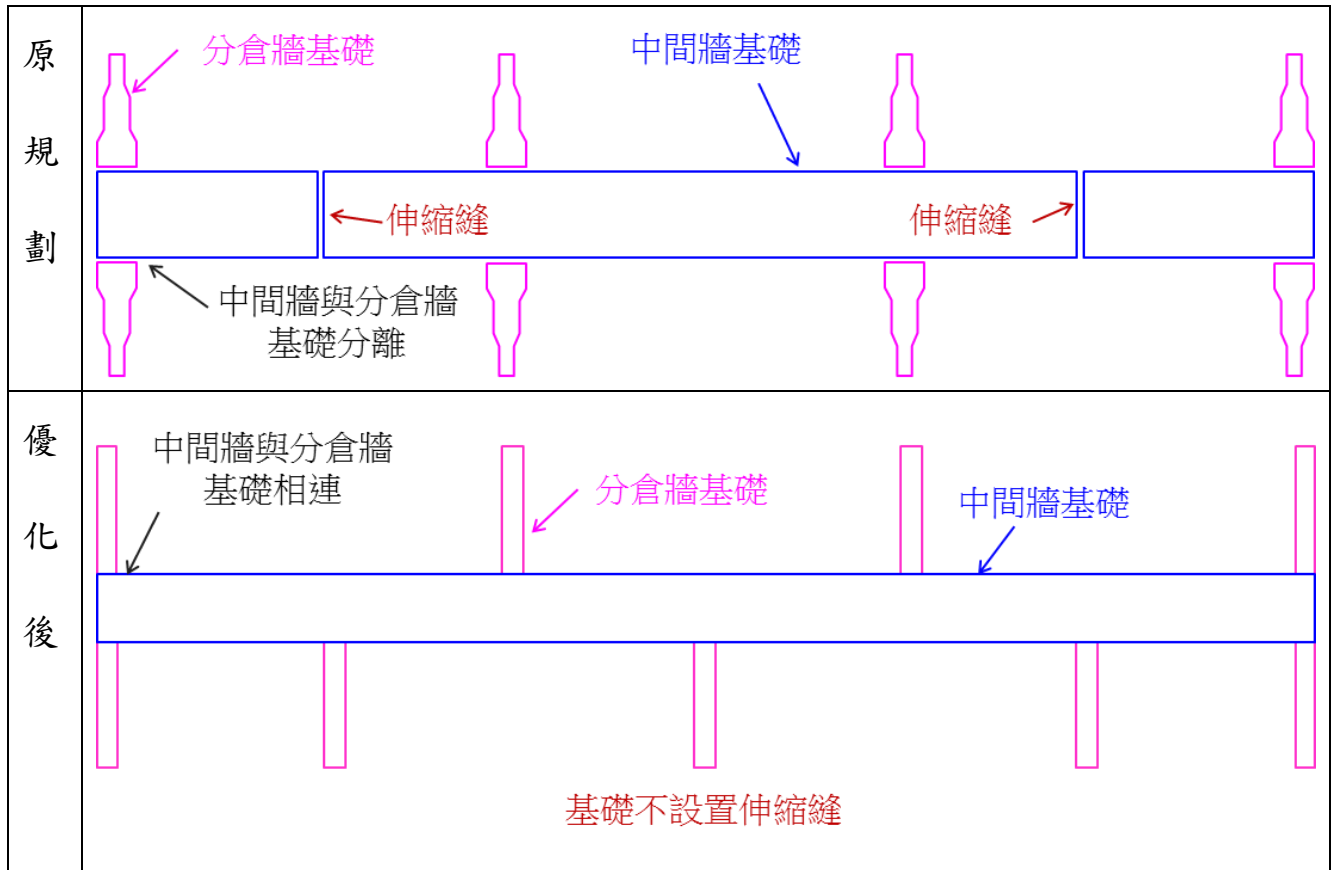
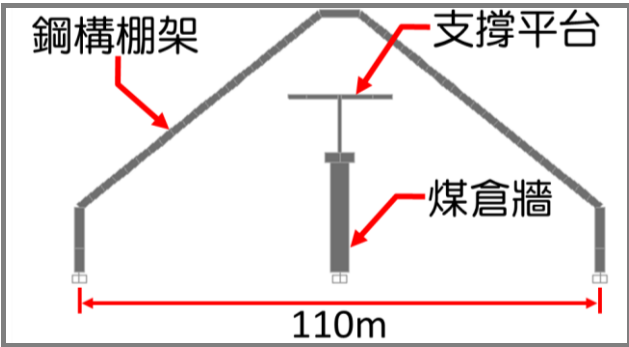
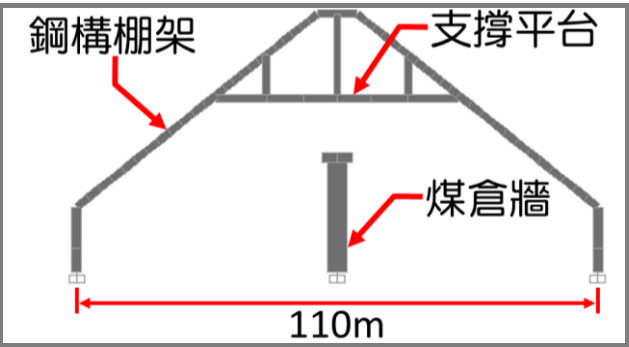
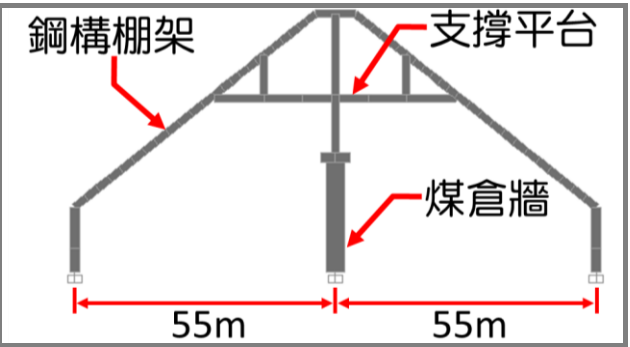







表 1 不同棚倉結構型式比較表

	方案 1：獨立式	方案 2：部分共構式	方案 3：全共構式
方案	 <p>鋼構棚架 支撐平台 煤倉牆 110m</p>	 <p>鋼構棚架 支撐平台 煤倉牆 110m</p>	 <p>鋼構棚架 支撐平台 煤倉牆 55m 55m</p>
案例			
組合	棚架／支撐平台+煤倉牆	棚架+支撐平台／煤倉牆	棚架+支撐平台+煤倉牆
配置	單跨 110m	單跨 110m	二跨 2@55m=110m
棚架	鋼重最大	鋼重次之	鋼重最小
煤倉牆	牆底受力最大	牆底受力最小	牆底受力次之

	方案 1：獨立式	方案 2：部分共構式	方案 3：全共構式
結構性	佳	佳	優
施工性	佳	優	可
工程費	最高	適中	最低
工期	棚架與煤倉牆可分別請照提前施工	棚架與煤倉牆可分別請照提前施工	整體一併請照同時施工

佈煤機設置於煤倉頂蓋結構上方移動，進行結構分析時，除考量靜載重、活載重外，另須考量佈煤機之設備載重。

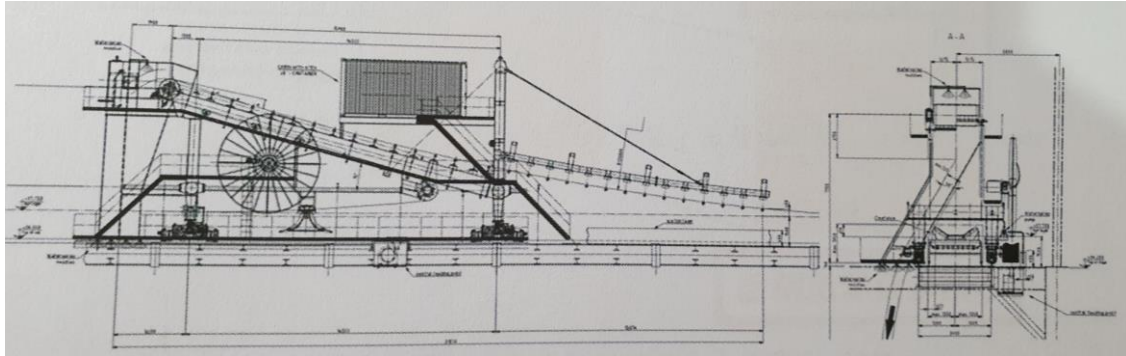


圖 47 佈煤機示意圖

**TRAVELLING TRIPPER WHEEL LOADINGS**

All Loads are Per Wheel and Shown in [kN]

No.	LOAD CASE	C.1		C.2		D.1		D.2							
		Hx	Hy	Rz	Hx	Hy	Rz	Hx	Hy	Rz					
1	DEAD LOAD	0	0	95	0	0	145	0	0	75	0	0	110		
2	MATERIAL LOAD	0	0	28	0	0	11	0	0	28	0	0	11		
3	BELT TENSION (MAXIMUM)	0	5	35	0	5	0	0	5	35	0	5	0		
4	TRAVEL SKEW (+/-)	25	0	0	31	0	0	21	0	0	24	0	0		
5	EARTHQUAKE in +/- X-DIR. (0.3*g)	17	0	-37	26	0	-55	17	0	37	26	0	55		
6	EARTHQUAKE in +/- Y-DIR. (0.3*g)	0	22	-12	0	22	12	0	22	-12	0	22	12		
7	BLOCKING C-SIDE (+/-)	4	17	-13	-4	17	13	4	0	13	-4	0	-13		
8	BLOCKING D-SIDE (+/-)	-4	0	13	4	0	-13	-4	17	-13	4	17	13		
9	MATERIAL OVERLOAD + CHUTE BLOCKED	0	0	85	0	0	135	0	0	85	0	0	40		
FEM	LOAD COMBINATION according F.E.M.	CLASSIFICATION											Maximum values of load combinations - Don't have to occur simultaneously!		
FEM I	LC1 + LC2 + LC3	Opposition		0	5	158	0	5	156	0	5	138	0	5	121
FEM II	LC1 + LC2 + LC3 + LC4	Opposition		25	5	158	31	5	156	21	5	138	24	5	121
FEM IIIa	LC1 + LC2 + LC3 +/- LC5	Opposition		17	5	195	26	5	211	17	5	175	26	5	176
FEM IIIb	LC1 + LC2 + LC3 +/- LC6	Opposition		0	27	170	0	27	168	0	27	150	0	27	133
FEM IIIc	LC1 + LC2 + LC3 +/- (LC7 or LC8)	Opposition		4	22	171	4	22	169	4	22	151	4	22	134
FEM IIId	LC1 + LC2 + LC3 + LC9	Opposition		0	5	243	0	5	291	0	5	223	0	5	161

Note:  
Lateral Loads are Hx (transverse to rail direction)  
Longitudinal Loads are Hy (parallel to rail direction)  
Vertical Loads are Rz

TPC, Taiwan  
18.4254  
SLT / GD 2018.08.28

**PRELIMINARY**

圖 48 廠商所提供初步設計佈煤機載重資訊

刮取煤機一端 (B 端) 承載於中間牆頂端，另一端 (A 端) 承載於地面基座，煤倉牆進行結構分析時，除考量靜載重、活載重外，另須考量刮取煤機之設備載重。



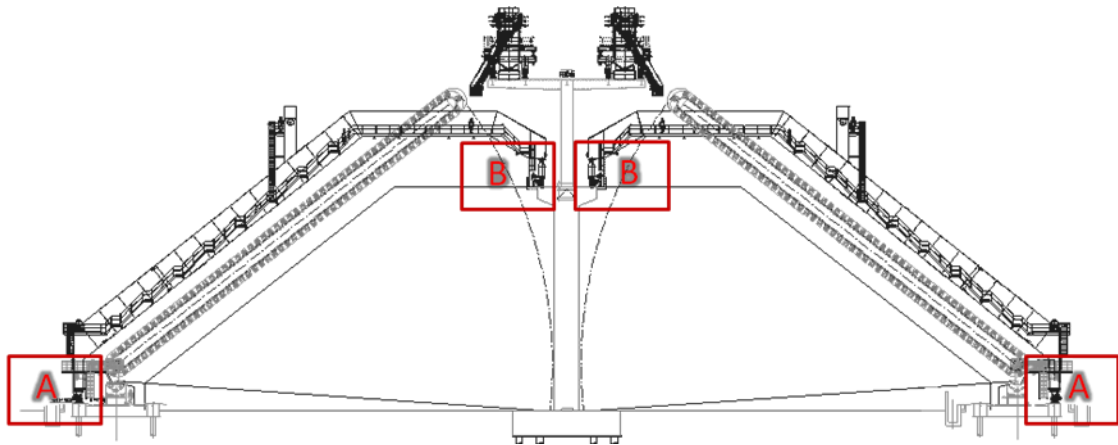


圖 49 刮取煤機示意圖

**SEMI-PORTAL RECLAIMER WHEEL LOADINGS**  
All Loads are Per Wheel and Shown in [kN]

No.	LOAD CASE	driven A.1			driven A.2			driven B.1			driven B.2				
		Hx	Hy	Rz	Hx	Hy	Rz	Hx	Hy	Rz	Hx	Hy	Rz		
1	DEAD LOAD	0	0	396	0	0	352	0	0	280	0	0	280		
2	CHAIN TENSION, OPERATION	94	0	0	74	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	RESISTANCE TO CUTTING (+/-)	24	10	-21	-24	10	21	0	0	-2	0	4	2		
4	CHAIN TENSION, STARTING	169	0	0	133	0	0	0	0	0	0	0	0		
5	TRAVEL SKEW (+/-)	79	0	0	70	0	0	17	0	0	17	0	0		
6	EARTHQUAKE in +/- X-DIR. (H= 7 %*VDL)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
7	EARTHQUAKE in +/- Y-DIR. (H= 7 %*VDL)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
8	TRAVELLING AGAINST STOCKPILE (+/-)	67	28	-60	-67	28	60	0	0	-6	0	11	6		
9	BLOCKING A-SIDE (+/-)	42	12	-28	-42	12	28	0	0	10	0	0	-10		
10	BLOCKING B-SIDE (+/-)	-84	0	56	84	0	-56	0	0	-20	0	45	20		
F.E.M.	LOAD COMBINATION according F.E.M.	CLASSIFICATION													
FEM I	LC1 + LC2 +/- LC3	operation		118	10	417	98	10	373	0	0	282	0	4	282
FEM IIa	LC1 +/- LC3 + LC4	operation		193	10	417	157	10	373	0	0	282	0	4	282
FEM IIb	LC1 + LC5	operation		79	0	396	70	0	352	17	0	280	17	0	280
FEM IIIa	LC1 +/- LC6	special		0	0	396	0	0	352	0	0	280	0	0	280
FEM IIIb	LC1 +/- LC7	special		0	0	396	0	0	352	0	0	280	0	0	280
FEM IIIc	LC1 +/- LC8	special		67	28	456	67	28	412	0	0	286	0	11	286
FEM IIId	LC1 +/- LC9 or +/- LC 10	special		84	12	452	84	12	408	0	0	300	0	45	300

**Note:**  
Lateral Loads are Hx (transverse to rail direction)  
Longitudinal Loads are Hy (parallel to rail direction)  
Vertical Loads are Rz

TPC, Taiwan  
18.4254

**PRELIMINARY**

圖 50 廠商提供初步設計之刮取煤機載重資訊

廠商提供 2014 年於韓國所建造之煤倉實績，與本次台中電廠煤倉類似之案例，為一長 365m 及寬 135m 煤倉，結構型式採共構型式之鋼構廠房，示意圖如下圖 51~53 所示，煤倉內分倉牆為 10 道，內有 2 台刮取煤機，煤倉兩側則有預留維修空間。

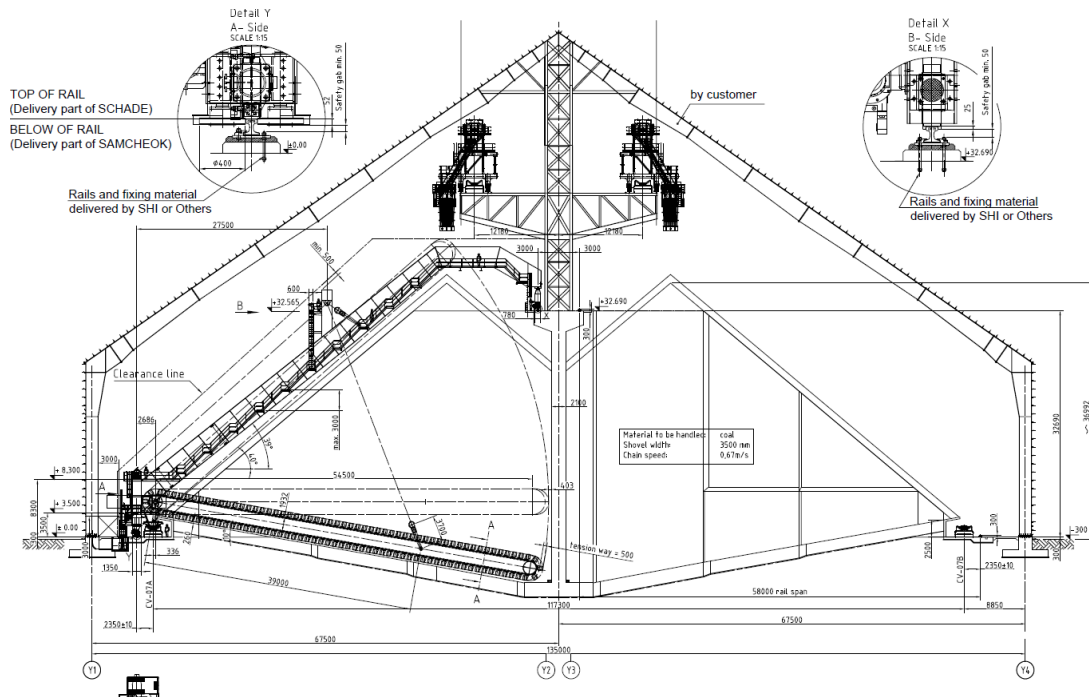


圖 51 韓國電廠煤倉斷面圖



圖 52 韓國電廠煤倉內部照片

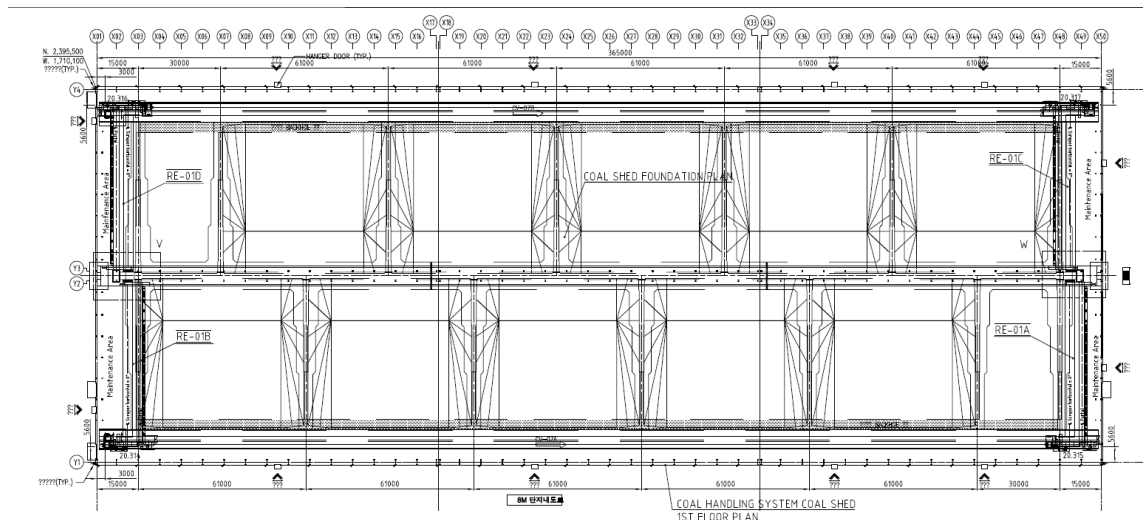


圖 53 韓國電廠煤倉上視圖

#### 四. 高效能煤倉控制系統

Schade 公司以台中煤倉系統設計為例(以半門型取料機應用於室內儲煤場)，堆料機為卸料車(Tripper car)型式與半門型取料機(Reclaimer)，可以是手動或是自動，從下圖基本架構可知煤倉之卸料車與取料機相關訊號將會送到中央控制室。

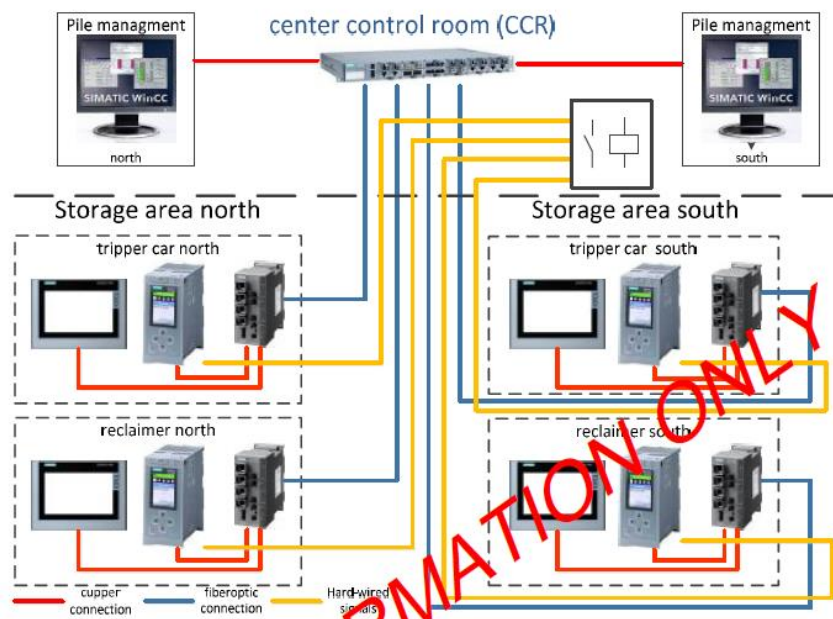


圖 54 訊號圖

取料機和卸料車全自動模式的特點是可以透過中央控制

室完成設備的全部操作。換句話說，設備操作是在遠程控制下。因此，不再需要現地操作控制。該系統的任務是即時存儲來自所有機器（卸料車與取料機）的數據，以確保數據每次都是最新的。中央控制室的操作員也可以確認機器（取料機和卸料車）狀態（報警、警告及工作狀態）。

利用控制系統進行卸料車的移動。可以知道卸料車在整個卸料過程中從一端移動到另一端的位置。這種控制系統的最大優點是，很容易開始在煤堆上執行取料動作。

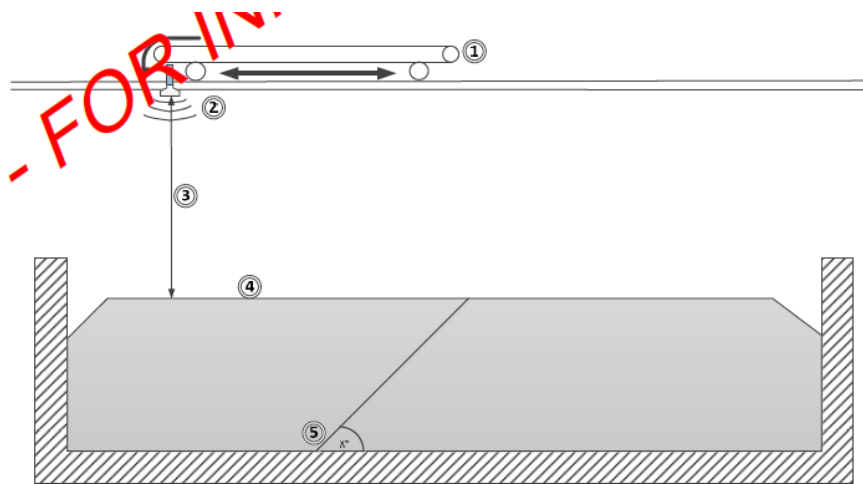


圖 55 示意圖(1)

如圖 55 在整個存料的過程中，安裝在卸料車①下面的材料探針②測量材料表面④和材料探針之間的距離③。該信息將用於對取料機進行角度計算⑤。所有計算的信息將通過柱形圖顯示並存儲在物料堆管理系統上。在物料堆管理系統中，完成存儲過程後，所有收集的數據透過通訊系統傳送至從硬碟(資



料庫)。

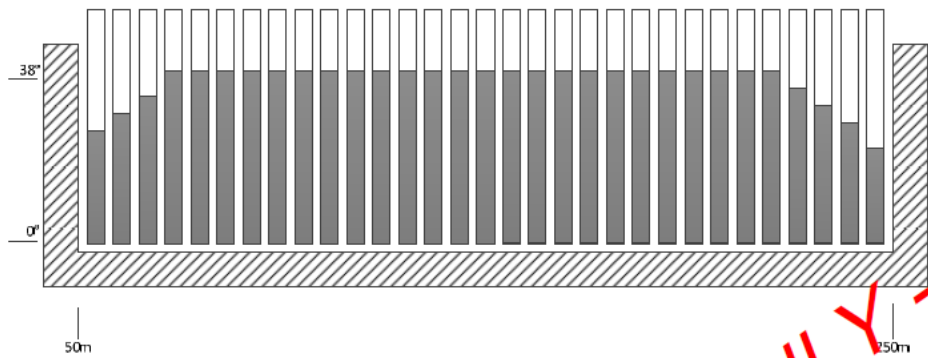


圖 56 柱形圖(1)

取料機可以透過資料庫直接開始取料，而無須人員輸入相關數值後才開始取料。

如果中控室中的操作員現在在此物料堆中進行開始取料，則取料器將獲得開始訊號，如圖 54 所示：

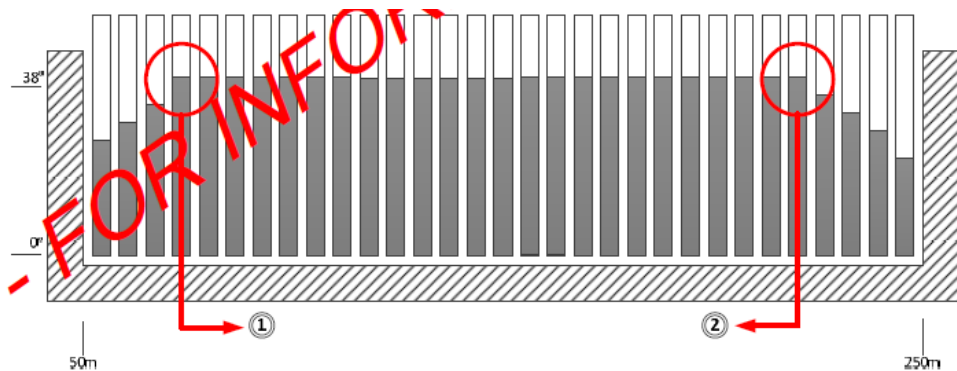


圖 57 柱形圖(2)

如果取料機來自行程位置 55 米處①的左側起動，則動臂角度為 38°；直到 215 米處②，再改變取料機動臂角度，不斷來回直到取完物料。

在取料過程中，當前的臂架角度和行程位置將發送到物料堆管理系統，柱形圖將在整個過程中更新。



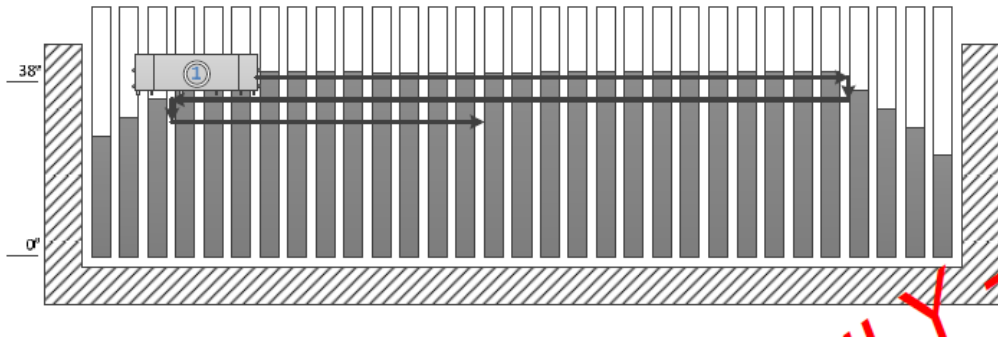


圖 58 柱形圖(3)

如果回收過程現在由於不同的原因而停止，則物料堆管理系統知道最後的位置和方向：例如，行程 125m，右側 35° 臂架角度。



圖 59 柱形圖(4)

一旦取料機刮板到達最低材料層，首先會顯示消息“存儲幾乎為空”。然後執行結束取料相關的程序，從而引起動臂向上自動移動。到達最高位置後，取料機將行駛至停車位置。

中央控制室操作員亦可以透過卸料車，直接掃描物料，獲得新的表面和取料機需起始位置。

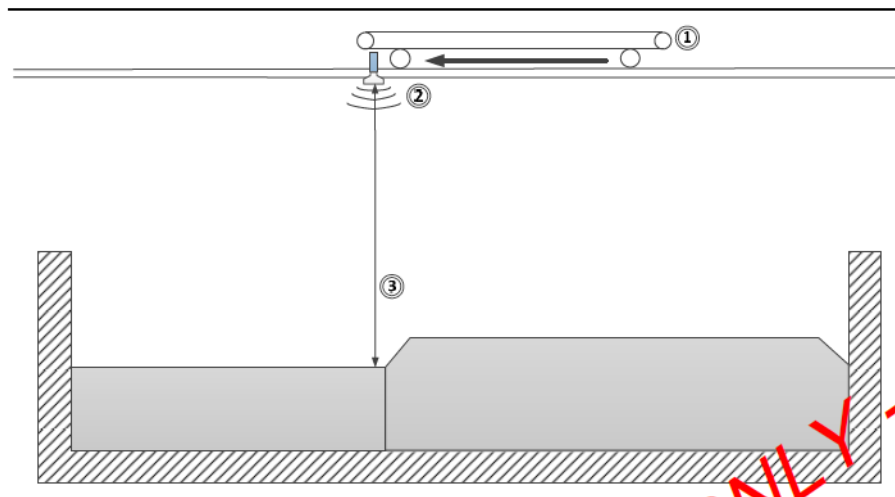


圖 60 示意圖(2)

藉由圖控與自動偵測物料高度與物料之角度，可以直接且自動取料，無須以肉眼操作機器取料，提高整體取料效益，以可減少人員操作不當。

## 伍、 Electrabel Rodenhuize 發電廠設備及倉庫參訪實習

本電廠新設機組於 2011 年投入營運，係全採用木質顆粒為發電燃料的電廠，每部機約為 180MW。原機組以 70%煤搭配 30%木質顆粒的比率進行混燒。目前，所採用的木質顆粒燃料，每小時用量約 120 噸，相當於每年 80 萬噸。

此發電廠具備有室外與室內儲料場所之特點，一般而言，室外儲料場所較適合儲存煤碳；室內儲料場所較適合儲存木質顆粒燃料 (Wood Pellets)，因木質燃料具吸水性不適合儲存於室外，且卸料及輸送設備可採同一組設備，可切換操作煤碳與生質燃料，圖 60 為

Electrabel Rodenhuize 發電廠室內外雙燃料儲存場平面圖。



圖 61 Electrabel Rodenhuize 發電廠室內外雙燃料儲存場平面圖

室內生質能儲存場所為一長約 660m，寬約 50m，高約 20m 之桁架型棚倉，採用桁架型構件因使用之鋼重較少，初期建置成本較低，惟結構系統構件較多、接頭較複雜，後續於運管維護量上較須費心。



圖 62 室內生質能儲存場所外觀正面圖



圖 63 室內生質能儲存場所外觀側視圖





圖 64 室內生質能儲存場所內部圖

木質顆粒透過抓斗式卸料機從小型船隻或駁船上卸下，由於抓斗未完全封閉，碼頭上尚有溢料。



圖 65 木質顆粒卸料(抓斗式)





圖 66 堆料機

堆料機上設有輸送帶可直接將物料堆放在棚屋的堆料中。如下圖所示，木質顆粒堆料時會造成很多粉塵，而此棚倉有通風通氣設計，可避免爆炸之危險。



圖 67 堆料機堆料中

經由 SCHADE 橋式堆料機進行堆料後會留下一層顆粒。這需要由推土機堆高後才能再次輸送。



圖 68 木質顆粒堆與殘餘層

下圖為 SCHADE 橋式取料機用於刮取木質顆粒。橋式取料機所需之建築高度可降低，故可降低棚倉的投資成本。此取料機之鍊條式輸送機將物料取出，並將其舉升至與儲存堆平行的垂直帶式輸送機(perpendicular belt conveyor)。



圖 69 橋式取料機(SCHADE)

取料機有兩個刮耙(harrow)，每側一個。此取料機可從料倉的一端移動到另一端。這種類型的自動取料設備減少了料堆放的存放時間，進而降低了顆粒悶燒的風險。物料存放的時間越長，悶燒的



風險就越大。

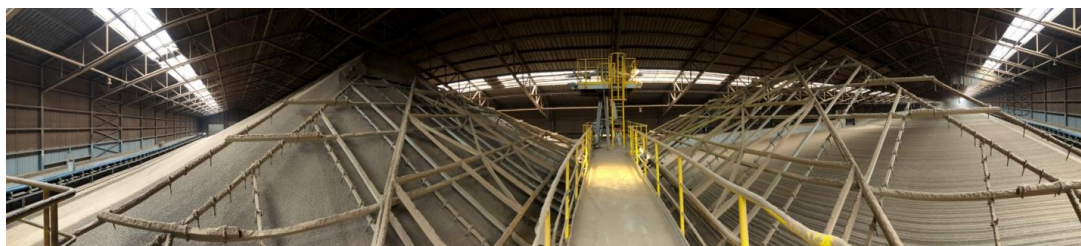


圖 70 於取料機中央走道拍攝全景圖

取料機的刮耙(harrow)可左右移動，以刮下物料以便刮斗取料到沿著物料堆運行的輸送帶。



圖 71 取料機刮耙

如前所述，俯仰式堆料機較適合戶外儲存場所，然而在該發電廠為簡化設備投資，在既有俯仰式堆料機旁建造此室內棚倉，其屋頂特別設計如圖 72~74 所示，開槽式的屋頂設計，塑膠條帶薄板和角度傾斜的設計可防止雨水進入棚屋，亦可使得原本僅適合於戶外使用之俯仰式堆料機亦可應用於室內生質能進料。因該發電廠並非在濱海地區，其燃料是以透過運河船運方式進行，而本公司大多數火力發電廠皆位處東北季風強烈之濱海地區，開槽式的屋頂設計恐較不適用於本公司工程應用。

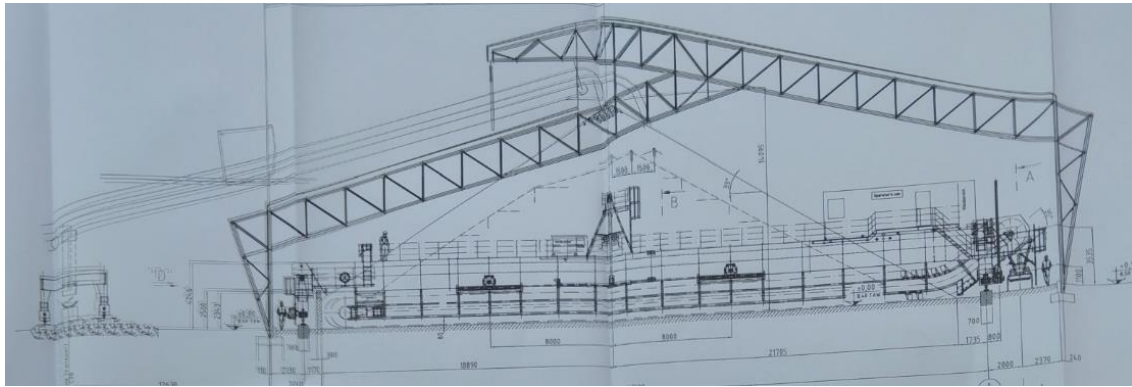


圖 72 開槽式的屋頂設計使得俯仰式堆料機亦可應用於室內生質能進料



圖 73 開槽式的屋頂設計內部照片



圖 74 開槽式的屋頂設計外部照片

## 陸、 結論

1. 本次實習課程從發電廠實際燃料卸儲作業(卸料機(Ship Unloader)、堆料機(stacker)、取料機(Reclaimer)等..)之控制系統與發電廠實際運維作業，作完整的資料搜集與經驗學習，對日後經辦類似工程提供寶貴參考經驗。
2. 螺旋式卸料機最大公稱卸料(煤)量為 2,400 噸/小時，全船平均效率高於 70%，且重量輕，僅抓斗式卸煤機一半重，且其燃料在垂直提升和水平輸送過程，係在封閉空間進行，落煤量甚少，符合環保需求是未來發展趨勢。
3. 在卸料機監控系統上，在燃料進入取料頭之前，可利用紅外線檢測貨艙中的發光餘燼或熱源，亦可在控制室監測燃料的溫度，以避免因溫度升高而引起火源，減少事故發生，且因燃料具有可燃及自燃性恐引起爆炸，因次相關材質須符合 ATEX EU 標準，以適用於潛在爆炸性環境的設備和保護系統。在堆取料機之控制系統上，藉由材料探針與相關數據儲存於堆管理系統，透過圖控與自動偵測物料高度與物料之角度，可以直接且自動取料，無須以肉眼操作機器取料，提高整體取料效益，以減少人員操作不當，並提高取料效益。
4. 發電廠燃料卸儲設備的選用與燃料儲存建築型式息息相關，而



各燃料儲存建築結構型式選用於初期之規劃設計甚為重要，需考量電廠之實際操作情況、建置成本及運維成本等，本次實習透過原廠設計工程師說明各型設備之設計理念與運轉特性，使我們對各型設備有更深層認識，並赴多處發電廠見證各型設備的實際運轉成效。

5. 本次參訪 Avedore 發電廠，針對其 1 號機由全燃煤機組轉型為全燃生質燃料機組，從而瞭解丹麥國家能源政策、轉型工程重點內容及燃料儲運等面向。本公司當前亦面臨國家能源轉型之際，Avedore 發電廠之成功轉型經驗，值得本公司借鏡。