出國報告（出國類別：實習）

（裝訂線）

高效能供煤系統機械設備
安裝施工技術實習

服務機關：　台灣電力公司營建處

姓名職稱：　劉峻愷　一般機械課長

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：　108.01.24

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：高效能供煤系統機械設備安裝施工技術實習

頁數 24 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

劉峻愷/台灣電力股份有限公司/營建處/一般機械課長/（02）

23666931

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：108/01/24

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

本次實習課程是依據發電廠實際燃料卸儲作業流程規劃,從船運卸煤機(Ship Unloader)、堆料機(stacker)、取料機(Reclaimer)、輸送皮帶(Conveying System)等設備，逐一對設備設計、選用、工廠加工製造與設備檢驗及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。

此外對於全燃煤機組轉型為全燃生質燃料機組之能源轉型工程做瞭解與觀摩,特別針對室內儲料場所之安全設計注意事項做深入瞭解，辨識災害危險因子，再針對各項危險因子提出有效防範對策，將有助於日後經辦類似工程，提出經驗回饋。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網（https://report.nat.gov.tw/reportwork）

目　錄

頁次

壹、前言‧‧‧

壹、前言

由於營建處首次經辦「台中發電廠 1~10 號機供煤系統改善工程」，對於大型火力發電廠燃料的卸除、儲運、取料及輸送等一貫作業之規劃設計與設備安裝監造，乃至於操作維護等皆未有經驗，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及加工製造工廠之生產品管流程，並赴國外發電廠實際體驗燃料卸儲作業與瞭解相關設備操作流程。

本次實習課程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煤設備製造廠商 Siwertell 公司設計部門參訪，學習最新螺旋式卸煤機(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

訪實習的另一項重點為如何防範室內粉塵濃度蓄積引起粉塵爆炸的危險，從建築物內部機具設備設計準則及歐洲地區防爆法規談起，乃至於建築物內部主、被動消防安全設備之規劃設計。

此外為因應丹麥於 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 火力發電廠之 1 號機從全燃煤機組轉型成全燃生質能(Wood Pellets)機組。從燃料卸儲設備的觀點而言，煤碳與生質能(Wood Pellets)燃料所採用的設備是相同的，差別在於 Wood Pellets 只能於室內儲存，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_x 排放量與降低總體碳排量的目標，也許前述兩發電廠的成功案例值得本公司參考，以宣示本公司「Go Green」邁向綠色企業的決心。

貳、船運卸煤設備製造廠商 Siwertell 公司參訪與工廠實習：

一. Siwertell 公司簡介：

Siwertell 公司位在瑞典 Bjuv 鎮，創建於 1972 年為專業的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，廣泛應用於鍊鋼、石化、水泥及發電業，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設備，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 2 本公司興達發電廠卸煤設備

二. 螺旋式卸煤機(Ship Unloader)之特性：

卸煤機依其取料方式不同大致可分成鍊斗式(Bucket-chain)、抓斗式(Grab type)及螺旋式(Screw type)等三種。而螺旋式卸煤機亦為 Siwertell 公司主力產品，螺旋式卸煤機相較於其他型式有下列優點：

a. 高效率：

螺旋式卸煤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，供料能量範圍較大。從圖 3 取料頭(Inlet Feeder)示意圖可知，取料頭旋轉方向與內部螺旋葉片相反，如此可增進取料效率，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。

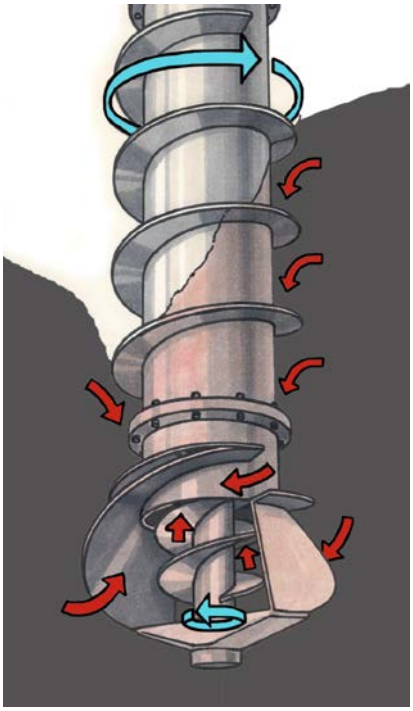

圖 3 取料頭示意圖

圖 4 卸煤機自船艙取料照片

b. 操作便利：

螺旋式卸煤機因其機構設計具有 8 個方向移動之自由度(degree of freedom)如圖 5，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 6 所示。

圖 5 螺旋式卸煤機具有 8 各方向自由度特點

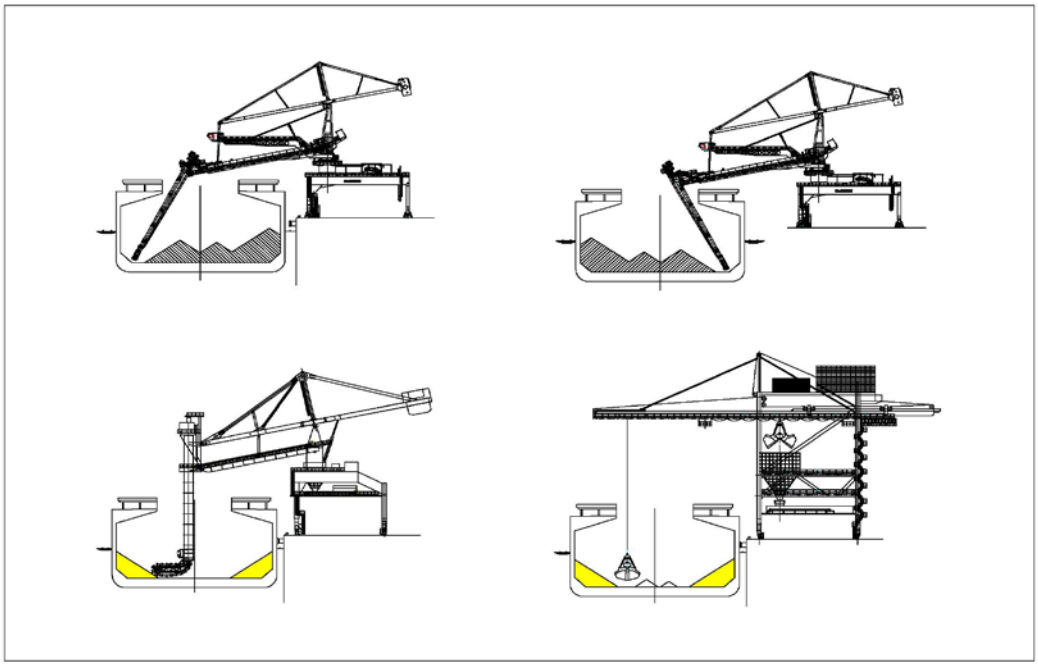

圖 6 螺旋式卸煤機相較其他機型殘留燃料最少

c. 友善環境：

螺旋式卸煤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。

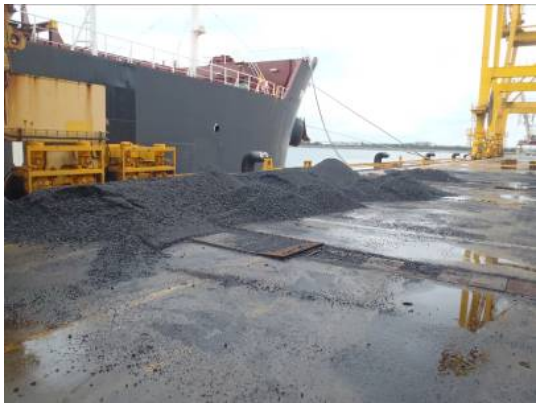

圖 7 抓斗式卸煤機易產生溢漏問題污染環境

圖 8 螺旋式卸煤機在密閉管道輸送燃料對環境較友善

d. 維修容易：

螺旋式卸煤機唯一需定期維修更換磨耗元件為 OD Bearing 如圖 9 所示位置，其維修更換容易。

圖 9 OD Bearing 外觀位置圖

圖 10 OD Bearing 內部可更換磨耗片

三. 螺旋式卸煤機(Ship Unloader)製造工廠實習：

為增進 Siwertell 公司全球競爭力，目前該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。

本次實習以參訪螺旋葉片加工生產線為主，從鋼板進料→裁切→成型加工→焊接組裝→防蝕塗裝→出廠檢驗等為一貫完整流程。在焊接組裝過程中需特別留意螺旋葉片與軸心，因長時間焊接而產生之熱影響與變形問題，故特別採用跳焊工法來避免變形問題產生，如圖 11 所示。

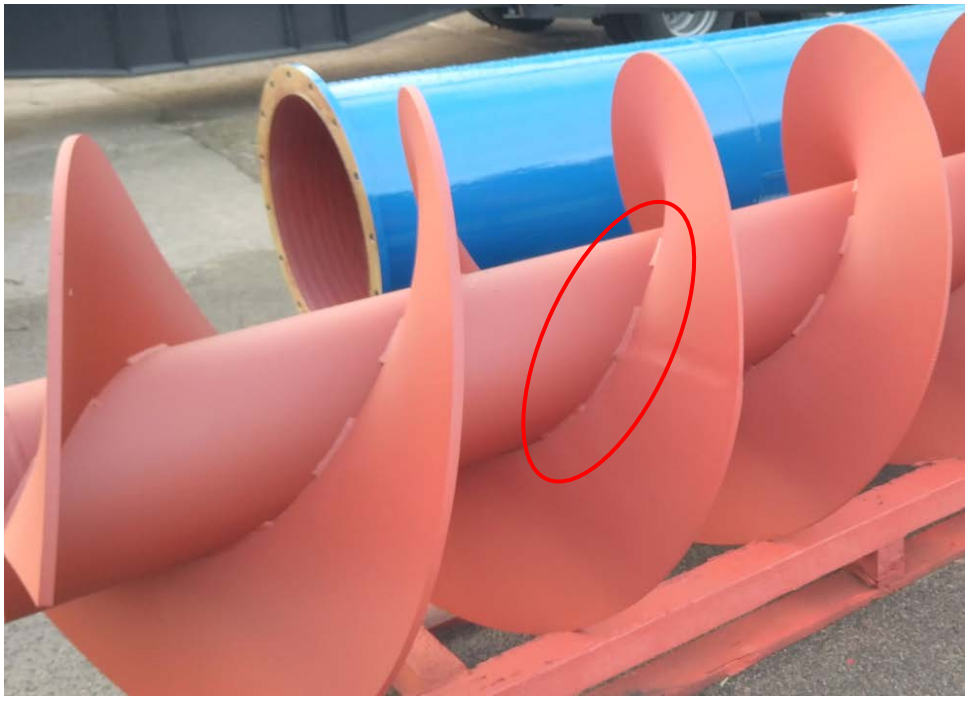

圖 11 螺旋葉片與軸心採跳焊工法避免變形

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 12 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。

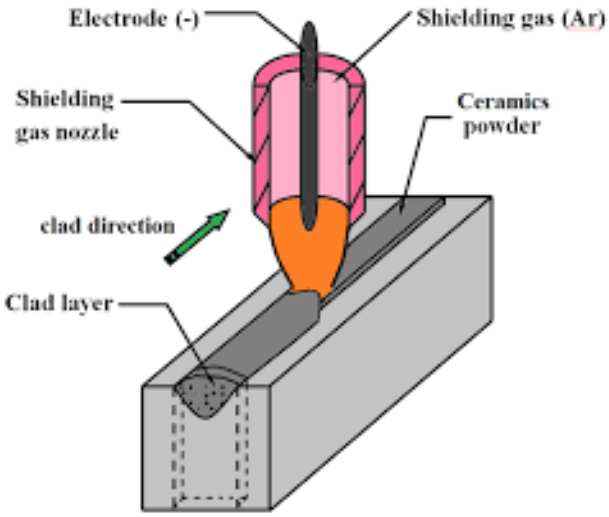

圖 12-a 焊接被覆硬化層工法基本原理

圖 12-b 螺旋葉片圓周區施以焊接被覆硬化層工法

四. Avedore 發電廠參訪實習心得：

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，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)，機組容量為 250MW，花費約 35 億新台幣，由日本三菱日立公司負責改造。據電廠人員表示，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。生質燃料另一方面的優勢為 NOx 排放量可減少 50%以上，並降低總體碳排量(Carbon Neutral)。

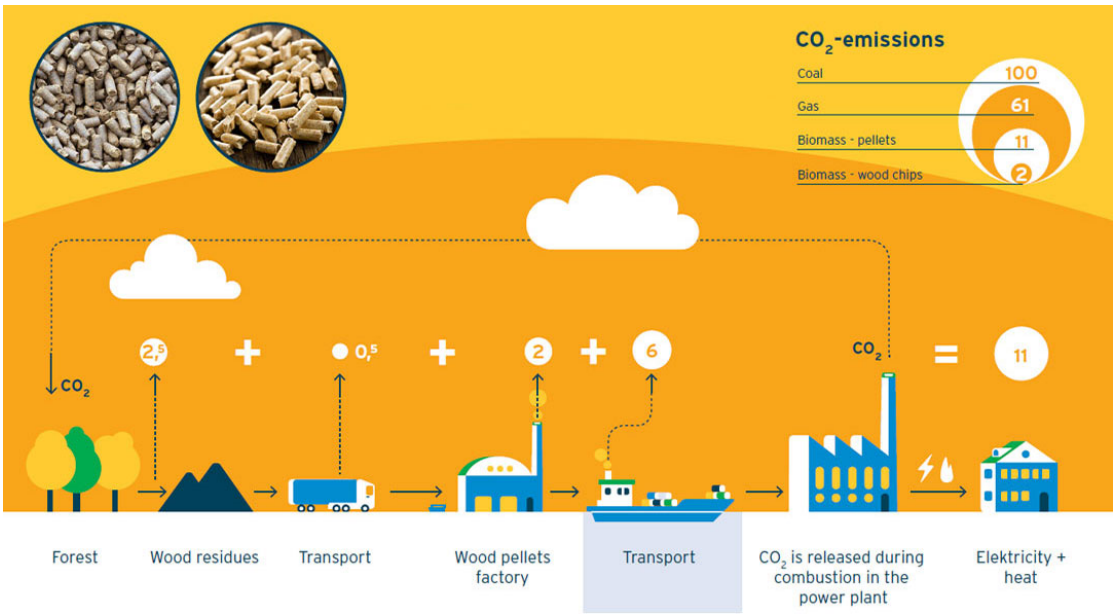

圖 13 生質燃料碳足跡　資料來源：Vattenfall 網站

固態生質燃料於燃燒過程中，會產生鉀(K)與氯(CL)元素，其受熱產生 KCL 與 HCL 等低熔點之強鹼性生成物，極易黏著於爐壁與爐管，造成嚴重腐蝕結果；另一隱憂為前述之生成物亦會弱化 SCR 之觸媒反應效果。根據 Avedore 發電廠人員表示，該電廠目前所採取的對策就是利用 2 號機燃煤機組所產生之飛灰，將其加入 1 號機之固態生質燃料燃燒過程中，與前述之生成物產生中和反應，其化學式如下：

$$2\ KCL + Al_2O_3 + nSiO_2 + H_2O \rightarrow K_2O.Al_2O_3.nSiO_2 + 2\ HCL$$

上式中 AL_2O_3 與 SiO_2 即為飛灰的主要成份。

此次參訪實習 Avedore 發電廠，具有下列幾點特色：

- 具備雙燃料儲存特性，其中煤碳存於室外，生質燃料存於室內，並可共用一套卸船與輸送設備。
- 利用 2 號燃煤機組產生之飛灰，加入 1 號機固態生質能

鍋爐燃燒過程，解除產生生成物的弊端，同時亦可去化飛灰處理問題。

圖 14 Avedore 發電廠麥桿與木顆粒儲存場

參、佈料機、取料機及輸送設備製造廠商 Schade 公司參訪與發電廠實習

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)依建築結構型式可分為全門型(Full Portal)、半門型(Semi-Portal)及圓型(Circular)取料機：

圖 15 全門型取料機適合應用於戶外儲煤場

圖 16 半門型取料機適合應用於室內儲煤場

圖 17 圓型取料機適合應用於 Dom 型室內儲煤場

二、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 頓/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。

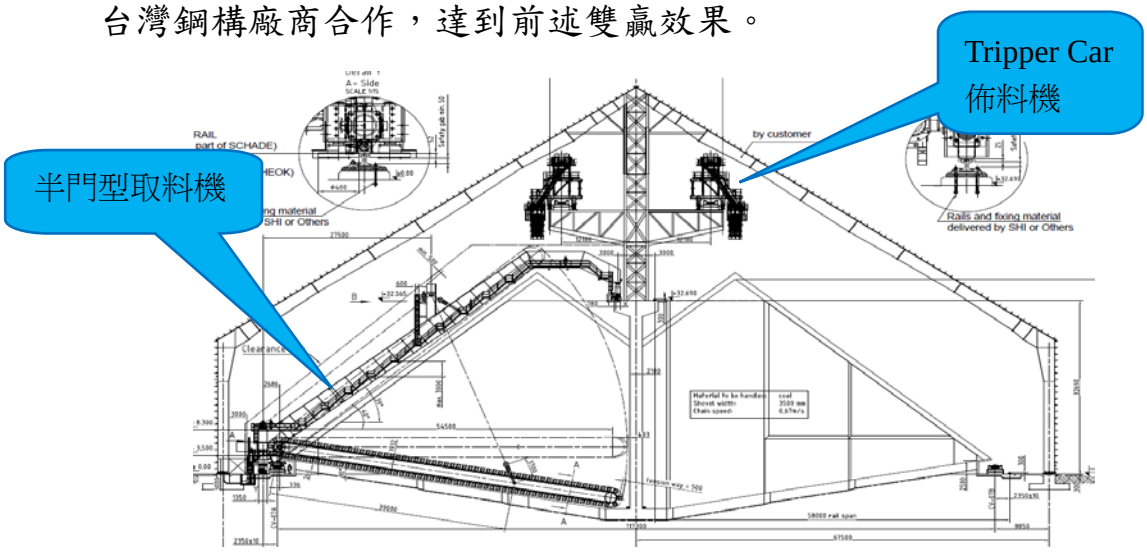

圖 18 室內儲煤場剖面圖

堆料機(Stacker)可分成俯仰式及 Tripper Car 佈料機等兩類，如圖 19 俯仰式較適合戶外堆料場；圖 20 Tripper Car 佈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 佈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，有關室內儲料場所安全設計之敘述待下面章節詳述。

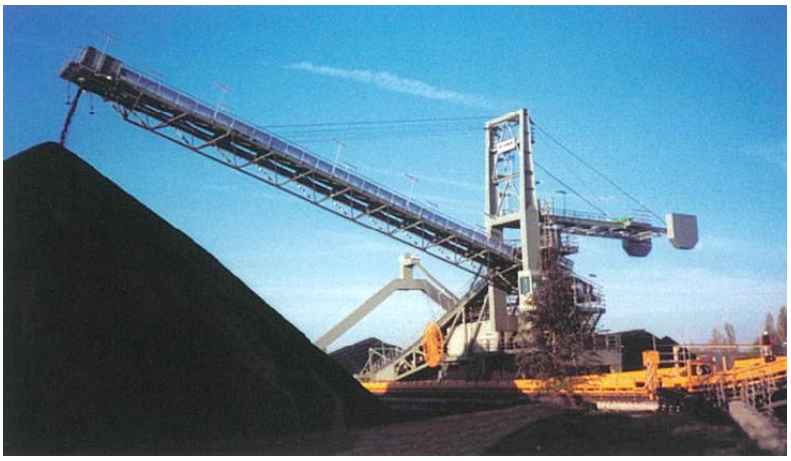

圖 19 俯仰式堆料機較適合戶外堆料場

圖 20-a Tripper Car 佈料機較適合室內儲料場

圖 20-b Tripper Car 佈料機進料時引起極大揚塵現象

三、Electrabel Rodenhuize 及 Westfalen 發電廠參訪實習心得：

此次參訪之發電廠皆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生質燃料(Wood Pellets)，因生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 21 為 Electrabel Rodenhuize 發電廠室內外雙燃料儲存場平面圖。

如前所述，俯仰式堆料機較適合戶外儲存場所，然而在 Electrabel Rodenhuize 發電廠為簡化設備投資，特別設計如圖 23 所示，開槽式的屋頂設計，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 Electrabel Rodenhuize 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於本公司工程應用。

圖 21　Electrabel Rodenhuize 發電廠室內外雙燃料儲存場平面圖

圖 22　Electrabel Rodenhuize 發電廠室內生質能與室外煤碳儲存場所照片

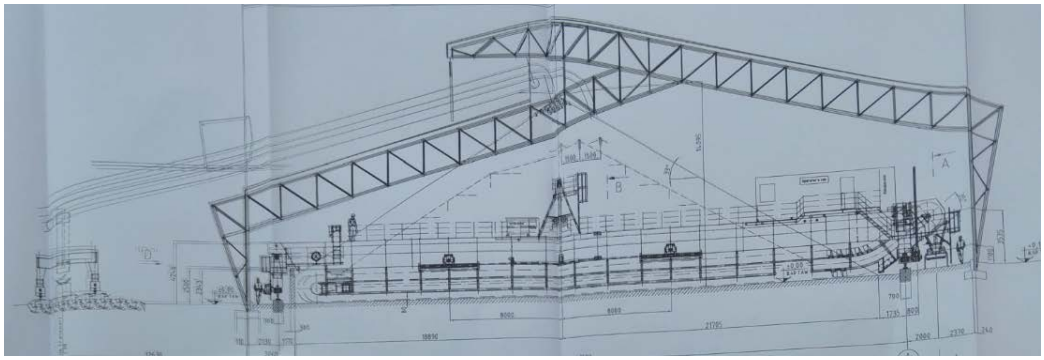

圖 23-a 開槽式的屋頂設計使得俯仰式堆料機亦可應用於室內生質能進料

圖 23-b 開槽式的屋頂設計內部照片

圖 24 為皮帶輸送設備主要兩種型態，採開放式輸送皮帶的好處為較不易產生粉塵爆炸，但另一方面則可能有滿溢散落對環境較不友善的疑慮；而採用密閉型輸送皮帶的好處為對環境較為友善，但另一方面則有密閉空間產生粉塵爆炸的風險，因此必須有相關防止爆炸的安全措施，將於下面章節詳述。此次參訪 Westfalen 發電廠我們發現在儲煤場區域之輸送皮帶採開放式設計；而進入發電廠區內之輸送皮帶則採密閉型輸送皮帶的設計，其主要考量為維持發電廠區之環境。

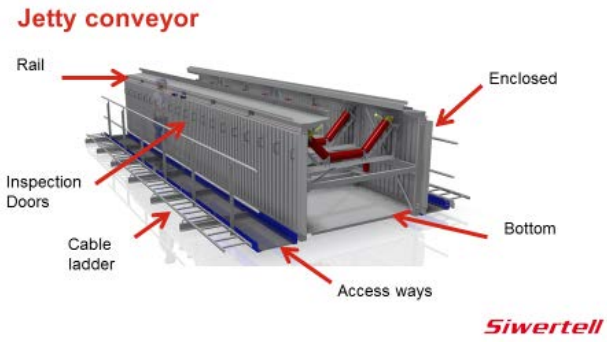

圖 24-a 開放式輸送皮帶

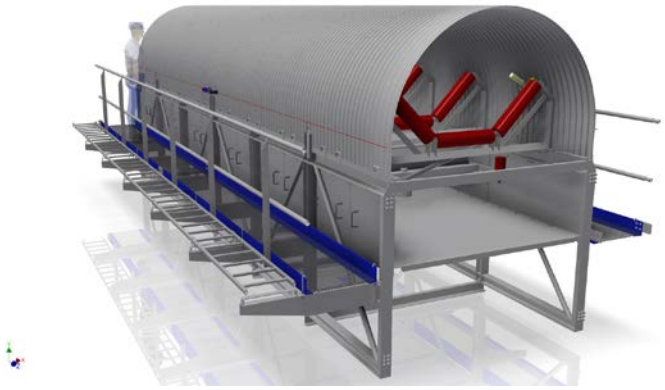

圖 24-b 密閉式輸送皮帶

圖 25-a 密閉式輸送皮帶應用於發電廠區

圖 25-b 開放式輸送皮帶應用於儲煤場區

四、室內儲料場所安全設計注意事項：

在密閉建築空間儲存燃料不論存放煤碳或是木顆粒生質燃料，皆具有高度粉塵爆炸的風險，因此無論建築結構設計亦或內部設備設計，皆需考量粉塵爆炸的風險。粉塵爆炸的定義：飄浮於空氣中之可燃性粉末或微粒子，遇到火焰或電氣火花而產生之爆炸現象。影響粉塵爆炸的內在因素：

- 燃料粒度：愈細粒度愈易飄浮於空氣中且粒子表面積與空氣接觸愈多，較易發火燃燒。生質燃料相較於煤炭比重輕、粒徑細的特點，故危險程度高。
- 發火能量：此與燃料種類有關，木顆粒生質燃料相較於煤炭，具有更低發火能量，故風險程度高。
- 爆炸界限：飄浮於空氣中之粒子濃度，若達爆炸界限則易發生災害。

影響粉塵爆炸的外在因素：

- 溫度：儲存環境溫度，愈高愈易爆炸。
- 氣氛：此點與建築空間之通風設計有關，若通風良好則較不易發生爆炸。

圖 26 Electrabel Rodenhuize 發電廠建築外牆之自然通風口設計

- 火源：燃料堆置應採分區堆置原則，如此不但可避免大量堆積引起之自燃現象，亦可避免一但災害發生產生大規模的連鎖反應。另設置於建築內部之電氣設備，皆需具備防爆設計，以避免產生電氣火花。

圖 27 Electrabel Rodenhuize 發電廠燃料堆置預留空間帶

圖 28 Electrabel Rodenhuize 發電廠採用防爆燈具

圖 29 設置於建築物內之各項機械設備皆需符合 CE 或 ATEX 防爆法規

預防粉塵爆炸之有效對策，可分成事前防範(Prevention)與發生時之抑制(Suppression)兩大方向。

事前防範(Prevention)：

● 保持整潔，避免過多揚塵：可選擇較不易引起進料揚塵之堆料機型式；另亦可配合使用抑塵措施(如：水霧設備)。

圖 30 Electrabel Rodenhuize 發電廠設置水霧抑塵裝置

● 添加不燃性惰性氣體：燃料於輸送與研磨過程中，可加入惰性氣體以稀釋氧氣濃度，降低爆炸發生的風險。

● 避免大量堆積：燃料堆置採分區原則，且應避免堆放過久產生自燃現象。

爆炸發生時之抑制措施(Suppression)：將爆炸產生之壓力火焰，透過密閉空間所設置「爆炸孔」，釋放至外部以減少災害規模。

圖 31 Avedore 發電廠室內木顆粒儲存場建築外牆釋壓孔口設計

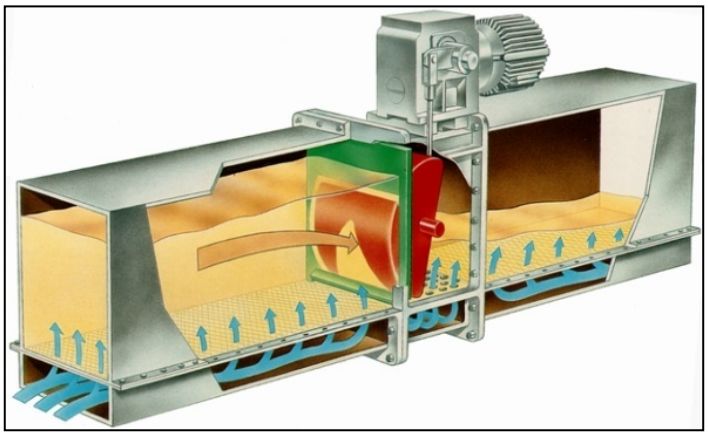

圖 32-a 於密閉輸送管道內設置洩壓孔口示意圖

圖 32-b 常用洩壓孔口型式

肆、結論：

1. 本次實習課程安排是依據發電廠實際燃料卸儲一貫作業流程規劃，從船運卸煤機(Ship Unloader)、堆料機(stacker)、取料機(Reclaimer)、輸送皮帶(Conveying System)等設備，逐一對設備設計、選用、工廠加工製造與設備檢驗及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. 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，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。

3. 本次實習參訪之發電廠皆具備煤炭與生質能雙燃料儲存特色，特別針對室內儲料場所之安全設計注意事項做深入瞭解，辨識災害危險因子，再針對各項危險因子提出有效防範對策，此一經驗將有助於本處日後經辦台中發電廠室內煤倉工程。

4. 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。