

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：洽公)

轉化商 Cameco 與 ConverDyn 國外庫存查核作
業

服務機關：台灣電力公司

出國人職稱：燃料處核燃料組核燃料採購專員

姓名：蔡旻君 (273829)

出國地區：加拿大、美國

出國期間：106年8月28日至106年9月3日

報告日期：106年10月30日

報告內容

目 錄

壹、出國緣起與任務	1
貳、出國行程紀要及會議議程	2
參、工作內容	3
肆、感想與心得	9

壹、出國緣起與任務

- 一、本公司為確保核燃料供應安全與穩定，訂有庫存政策。其中，原料鈾庫存為至少備有 3 年安全庫存量，亦建立部份轉化鈾庫存，以增進供應安全，並有助於實際機組調度。庫存地點則分別存放於國外轉化廠與濃縮廠以分散庫存風險。由於庫存鈾料(包括原料鈾與轉化鈾)金額頗鉅，為確保本公司權益，定期查核以了解及確認貯存情況實有必要。
- 二、透過實地參訪，與廠家面對面討論及交換意見，除提升雙方之配合度，對核燃料營運合約作業執行亦有所助益。本公司在 Cameco 與 ConverDyn 兩家公司已建立原料鈾與轉化鈾庫存，除維持翔實的庫存資訊外，實地查核本公司庫存於國外之鈾料庫存，確認帳務記錄，並瞭解儲放設施安全狀況，俾確保本公司海外庫存鈾料之數量正確及安全。

貳、出國行程紀要

時間	工作行程
2017/8/28	往程：台北－加拿大多倫多
2017/8/29	轉化商 Cameco 庫存查核
2017/8/30~2017/8/31	轉化商 ConverDyn 庫存查核(加拿大多倫多－美國 Metropolis)
2017/9/1~2017/9/3	返程：美國 Metropolis－台北

參、工作內容

一、轉化商 Cameco 參訪及庫存查核

本公司目前與 Cameco 所簽署之轉化服務契約供應年度為 2013-2021 年(2020 及 2021 為選擇性年度)，每年 540 公噸鈾，並具有 10%之上下數量調整彈性。

Cameco 公司成立於 1988 年 10 月，為原有之加拿大 Saskatchewan 省營公司 Saskatchewan Mining Development Corporation 及國營公司 Eldorado Nuclear Limited 兩家公司合併後成立。如今 Cameco 公司已為民營公司，加拿大官方未持有任何股份。職此次參訪之 Port Hope 鈾轉化廠，其歷史可追溯至 1930 年代，當時係以生產鐳為主，直到 1942 年為了曼哈頓計畫兩顆原子彈之製造才開始大量進行鈾轉化作業。該廠為西方國家四座轉化廠之一，也是加拿大唯一之轉化廠，目前員工人數約 350 人，該廠除了生產供輕水式反應器使用之 UF₆ 外，亦生產 Candu 重水式反應器燃料所需之 UO₂。該廠 UF₆ 名目產能為每年 12.5 百萬 kgU，2016 年之實際年產量約為 6 百萬 kgU，並於 2017 年取得再運轉 10 年(即 2027 年)之運轉執照。

職此次參訪由 Port Hope 轉化廠經理 Mr. Dave Ingalls 先以簡報介紹該廠，其後與 Cameco Inc. 亞洲區銷售經理 Mr. Tim Shirkey 實際進入廠區參觀製程。包括還原(Reduction)、氫氟酸化(Hydrofluorination)與氟化(Fluorination)等轉化作業程序。

在製程方面，該廠採「濕式轉化」製程，所需之原料三氧化鈾(UO₃)於距離 Port Hope 以西約 600 公里之 Blind River 精煉廠生產完成後，以卡車運送至 Port Hope 廠進行接下來將 UO₃ 轉化為六氟化鈾(UF₆)之製程，詳細流程如下：

1. 還原(Reduction)

將自 Blind River 精煉廠送來 UO₃ 粉末磨製成更細的顆粒後，導入流體化床反應器 (Fluidized bed reactor) 與氫氣(H₂)反應，使 UO₃ 還原為二氧化鈾(UO₂) 粉末。

2. 氫氟酸化 (Hydrofluorination)

把上一階段取得之 UO₂ 粉末與氫氟酸(Hydrofluoric acid)導入濕式反應槽，產出泥狀的四氟化鈾(UF₄)。先通過滾桶乾燥機(Drum Dryer)後，再經由煅燒爐 (calciner)中乾燥鍛燒進一步去除水份及雜質，得到 UF₄ 粉末。此步驟能減少劇毒氟化氫(HF)之使用量以確保環保績效。

3. 氟化 (Fluorination)

UF₄ 粉末與氟氣(F₂)進行燃燒反應後得到氣態之 UF₆。因氣態 UF₆ 不便於運送及考量氣體不利於安全控管，故經由冷卻器使氣態 UF₆ 冷卻結晶，再加熱成液態後裝入特製運輸箱中，待渠於常溫常壓下恢復固態後，即可運至濃縮廠。

Mr. Dave Ingalls 於參觀廠區時，向職說明廠區內外某些區域人員須走在畫在地上的路線內，以避免被各式機具誤傷，據職觀察到之員工，皆有遵守安全路線之規劃，可見工安文化落實非常徹底。廠房內部各區域皆井然有序，與職原先對工廠之刻板印象完全不同。此外，Mr. Dave Ingalls 表示 Cameco 相當重視與當地居民之關係，故每年皆會於 Port Hope 當地舉辦許多活動，強化與民眾的溝通，並將公司資訊透明化，以利民眾該瞭解公司運作，減少民眾對核能工業的擔憂。Mr. Dave Ingalls 表示經過多年的努力，大多居民已能接受該廠設立於當地，且 Port Hope 廠之員工有 90%以上為當地居民，可見該廠與當地已緊密結合。

二、轉化商 ConverDyn 參訪及庫存查核

美國的 ConverDyn 與本公司目前訂有一轉化服務長約 TPC-CON-1321-CvD，美國的 ConverDyn，年交貨名目量為 360 噸鈾(tU)/年。合約期間共 7 年(即 102-108 年，另 109 及 110 年可執行買方選擇權)。年度交貨量本公司有權可調整+/-10%。

ConverDyn Metropolis 轉化廠的歷史始於 1950 年代中期，美國原能會(AEC)開始籌劃興建鈾轉化廠以供應核能電廠需求，1958 年該廠興建完畢，由 Allied Signal 公司擁有。當初係以供應美國原能會 AEC (能源部前身)為主，1959 年開始交運 UF6 迄今已有約 55 年豐富之運轉經驗，該廠曾於 1964 年因 AEC 合約結束而暫時關閉，惟隨即為了供應蓬勃發展之民間核能工業而於 1968 年又恢復運轉，並逐漸擴大產能。1992 年 General Atomics 關閉 Gore 轉化廠後，與 Allied Signal 合夥成立 ConverDyn，然而 1999 年 Allied Signal 被 Honeywell 併購，故現在之 ConverDyn 為 General Atomics 及 Honeywell 各持股 50%而組成。ConverDyn 主要銷售及管理 Metropolis 轉化廠所生產之轉化服務。Metropolis 廠區位於伊利諾州南方，與原 USEC 之 Paducah 濃縮廠隔著俄亥俄河遙遙相望，廠區總面積達 1,100 英畝，惟實際使用面積僅約 60 英畝。

該廠 2017 年以前每年名目產能為 15 百萬 kgU，惟目前之市場剩餘轉化鈾庫存過多，且需求極為有限，整體市場呈現供過於求的狀態，造成轉化服務價格持續低迷，故 2017 年 Metropolis 廠決定將名目產能降低至 7 百萬 kgU。ConverDyn 表示何時恢復產能實際情況需視市場狀況而定，惟短期內並無此計畫。2016 年實際產量約為 9 百萬 kgU。

職本次參訪主要由該廠的原料鈾供應部門副總 Mr. Al Stratemeyer 與計畫經理 Ms. Elizabeth Murphy 負責接待，並向職簡報 ConverDyn 之歷史、廠區安全

及製程，其後陪同職等參觀廠內之規畫並說明運轉情況，包括如何秤重 (Weighing) 與取樣 (Sampling)、還原 (Reduction)、氫氟酸化 (Hydro-Fluorination)、氟酸化 (Fluorination)、蒸餾 (Distillation) 等轉化作業程序。

在製程部份，Metropolis 廠係獨家採用所謂『乾式轉化』的做法，乾式轉化技術是於 U308 轉化為 UF6 製程之最後步驟，係以蒸餾法去除雜質，與 CAMECO 及 AREVA 企業之濕式轉化製程濕式轉化技術相比優點如下：

1. 為在製程之最後階段，方進行淨化作業，故可避免濕式轉化程序於淨化後之轉化程序中再受污染。
2. 產生之待處理廢料較少，即更為環保。
3. 處理步驟及時間則較一般轉化廠採用之濕式程序簡短。

有關 Metropolis 廠的轉化製程步驟說明如下：

1. 取樣(sampling)

每一桶原料鈾(U308)皆須經過秤重，並隨機進行取樣，檢驗當中含有之鈾含量及水份等內含物，並分裝成 6 瓶 150 公克之樣本，ConverDyn 及原料鈾供應商各持有 2 瓶，其於 2 瓶做為發生爭議時判斷之用。樣本將會送到實驗室由檢驗員對樣本進行分析，確定鈾的純度。實驗室的檢驗工作全年無休，以確保能得到最高品質的 UF6。

2. 準備礦體 (Ore Preparation)

此步驟屬於饋料準備(feed preparation)，以確保所有原料鈾顆粒之大小與密度適合放入流體床(fluid bed)內進行反應，過程將利用化學液體使原料鈾混合凝聚結塊，再經乾燥、刮刷及篩濾等程序。

3. 還原(Reduction)

原料鈾與氫氣(H₂) 在加熱到約 538°C (1000°F)以上之環境中，產生化學反應得到 UO₂ 及水，同時在過程中移除雜質。

4. 氫氟酸化(hydrofluorination)

UO₂ 與 HF 在加熱到約 482°C (900°F)以上之環境中產生化學反應，而轉化為俗稱綠鹽(Green salt)的中間介質 UF₄ 及水，在此過程中又進一步移除剩餘雜質，使純度再次得到提升。

5. 氟酸化(Fluorination)

UF₄ 與 F₂ 在加熱到約 400°C (750°F)以上之流體床環境中，再氟化為氣體之 UF₆。其中該廠內經由電解氟化氫鉀內之 HF，並由真空吸引取出 F₂，強化作業之安全性。

6. 蒸餾(Distillation)

UF₆ 氣體經過兩階段的蒸餾後，使純度達到 99.99%以上，再將純化之 UF₆ 氣體冷凝液化後裝入 14 噸(48Y)不鏽鋼圓筒。最後將圓筒送至廠區中的貯存場冷卻 4~5 天，使 UF₆ 固化。Metropolis 所用乾式轉化之生產方式，使渠之 UF₆ 純度為全球最高。

由於本公司有原料鈾及轉化鈾庫存於該廠，職一併參觀原料鈾及轉化鈾貯存場地。廠內之原料鈾貯存場大約兩個操場大，原料鈾桶(Drum)之所以顏色不同，是用以區分不同鈾源。原料鈾桶可互相堆疊，惟為防止過重造成箱子損壞或傾倒，最高僅能放置三層。

轉化鈾貯存場放置許多 48Y 之運輸箱，大部分直接放置於地面，少部分置於運送平板，但不可堆疊，因為冷卻後之轉化鈾非常的重，會壓迫到下層之運輸箱使之變形。Mr. Al Stratemneyer 請職以手感受剛裝入轉化鈾之運輸箱，摸起來還十分的燙，還需放置約 4-5 天待轉化鈾固化後才可以進行運輸作業。

另外，於參觀該廠區時，自進入廠區起，即有警衛檢查隨身物品，並要求穿戴安全防護裝備，如護目鏡、防塵衣，可丟棄式膠鞋等等，廠區中有些工作區因噪音較大，還須戴上耳塞，確保聽力不會受損。當職要離開該廠區時，不只需要洗手還有再次的安檢，確定沒有危險物品被帶出去，尚需通過輻射偵檢系統，此偵檢器較本公司核電廠使用之全身偵測系統簡化，僅檢測腳底及手部劑量且無柵欄攔阻，但有警衛在一旁看管，顯示該廠在輻射防護及工安方面也做的很確實。

肆、感想與心得

- 一、 由於職非畢業於核能相關科系，故本次出國洽公實際看到轉化廠每個製程的運作，讓原本覺得抽象的概念能夠具體化，實在受益匪淺，並且深切體會到核能產業對於品質及安全的堅持，以及業界人士高度專業的能力，即使廠家距離台灣十分遙遠，還是能放心廠商的交貨品質。
- 二、 本次參訪 Cameco 公司之 Port Hope 廠與 ConverDyn 公司之 Metropolis 廠，除可瞭解渠所提供之轉化服務製程品質，確保製程安全外，亦可查看本公司之原料鈾及轉化鈾庫存，確保本公司資產安全。經本次實地查核該二公司之實際作業程序及庫存管理均符合相關法規及品管要求，而就本公司鈾料庫存之儲放情形皆符合規定，且數量無誤與本公司之帳目記錄一致。
- 三、 最後非常感謝公司在職進入公司 2 年多即有機會出國洽公，相信此行對於未來工作將有莫大助益，希望未來還能再有類似的機會。感謝單位長官在行前規劃時，便不斷關心行程規劃、住宿、交通及與廠商會面之安排，對於初次單獨出國洽公的職來說安心不少，也因為有長官們的幫助，此次任務才能如此圓滿地完成。