

出國報告（出國類別：實習）

多目標地下變電所機電設備冷卻系統 之最新技術與運用研習

服務機關：臺灣電力公司

姓名職稱：陳文泉 九等電機工程師

出國地區：日本

出國日期：104.11.30~104.12.04

報告日期：105.01.27

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：多目標地下變電所機電設備冷卻系統之最新技術與運用研習

頁數 1 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

陳文泉/臺灣電力公司/輸變電工程處/主辦規範編輯專員/(02)23229784

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：104年11月30日至104年12月04日 出國地區：日本

報告日期：105年01月22日

分類號/目

關鍵詞：

水冷卻系統、三宮變電所、氣體絕緣變壓器(GIT)、板式熱交換器、
密閉型冷卻水塔、超高壓變電所(E/S)、一次配電變電所(D/S)

內容摘要：（二百至三百字）

在電力電網系統中，變電所為重要的一環，尤其在都會地區因用電成長快速，往往需在系統中設置大容量變電所，以提供可靠及穩定之電源，因都會區地價昂貴及大面積變電所用地取得困難，變電所與其他用途建築物共構之多目標及地下化已成必然趨勢，惟因多目標地下變電所之相關機電設備熱源冷卻技術遠較一般屋內室變電所複雜，甚至涉及環保與廢熱再利用之應用技術。本文就本次出國研習有關變電所機電設備水冷卻系統之設置、更新、製造及大容量氣體絕緣變壓器等發展現況與應用實例做說明，並就參訪關西電力公司三宮變電所規劃案例與多田電機熱交換器工廠板式熱交換器之製造技術提出心得與建議，作為本公司規劃及建置多目標地下變電所時參考。

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、出國行程 | 3 |
| 參、實習內容 | 5 |
| 一、多目標地下變電所水冷卻系統規劃簡介 | 5 |
| (一)、「事前檢討」 | 5 |
| (二)、「基本細部設計」 | 7 |
| 二、參觀關西電力公司之三宮多目標地下變電所 | 9 |
| (一)、關西電力公司(KEPCO)簡介： | 9 |
| (二)、三宮(San no miya)變電所簡介：(275kV)..... | 9 |
| (三)、三宮變電所特色： | 10 |
| (四)、實景照片： | 13 |
| 三、多田公司岡山熱交換器工廠實習 | 17 |
| (一)、水冷式冷卻器研習 | 17 |
| (二)、板式熱交換器研習 | 25 |
| 肆、心得及建議 | 28 |
| 一、變壓器水冷卻系統應用於多目標地下變電所 | 28 |
| 二、水冷卻系統規劃時之注意事項及建議 | 28 |

壹、前言

台灣因地狹人稠，土地取得不易，尤其於都會區內可開發之土地資源已逐漸稀少，從企業經營之角度，若能將土地做最妥善之規劃及開發利用，充分發展土地之價值，必能從中獲得最高之利益。就本公司而言，變電所一直被民眾視為避鄰之設施故屢遭反對及抗爭，但不可否認的，變電所是經濟發展及都市成長過程中不可或缺之公共設施，有鑑於此，各地方政府亦開始要求本公司檢討將變電所規劃於地下之可行性，故位於都會區中心昂貴地段之變電所之地下化並作多目標開發及異業結盟使用已成為本公司現今及未來電業設施之發展趨勢。

由於多目標地下變電所多位於人口密集之經濟繁榮商圈，如何妥善規劃使用精華區之土地資源，變成設計人員在變電所規劃設計上最重要的考量因素。惟多目標地下變電所之相關機電設備熱源冷卻、排放甚至涉及環保與廢熱再利用之應用技術，遠較一般屋內室變電所複雜許多。本公司近年來興建之多目標地下變電所(含地面型建物)如信南 D/S、中崙 D/S、新民 D/S 及興建中之萬隆 P/S、經貿 D/S 及福和 D/S(變電所位於地面)等所，此類變電所之變壓器等設備冷卻系統熱源交換方式均採用以空氣冷卻方式達成熱交換之目的。

本公司另一所規劃興建中之大安 E/S，因受限於土地面積狹小，為有效利用規劃空間，提升土地利用價值，而嘗試改變以往以空氣冷卻式做為變電設備規劃之冷卻方式，而改採比熱高、比容小、高散熱效率之水冷卻方式。但是水冷卻系統較之空氣冷卻系統之規劃設計更形複雜，以大安 E/S 多目標為例，地下層開挖 31M(地下 7 層)，地面層高度達 69.6M(地面 16 層)，密閉型冷卻水塔配置於屋頂層(R1F)，油-水熱交換器與變電設備(自耦電力變壓器*4 台、161kV 並聯電抗器*2 台及 33kV 並聯電抗器*2 台)配置於地下 6 層，中間連結冷卻水塔與油-水熱交換器之密閉冷熱水循環管路則沿專用之垂直管道間配置，揚程約達 100M。本公司除敦化 D/S(地面型變電所，揚程僅約 24M)於 20 餘年前(民國 78 年間)有使用過水冷卻系統之經驗外，

對現行水冷卻系統之技術發展資訊較為欠缺，因此，赴日本研習相關水冷卻系統之相關技術及觀摩關西電力公司三宮變電所之水冷卻系統配置實例，俾助於後續大安 E/S 新建工程之推展與執行。

貳、出國行程

104 年 11 月 30 日 往程(台北→大阪)

104 年 12 月 01 日~104 年 12 月 04 日(大阪府、兵庫縣、岡山縣)

本次赴日本實習，係透過日本多田電機公司(TADA)之代理商(CESIO)協助安排，赴日本與多田(TADA)公司之設備技術人員及水冷卻系統規劃人員，就水冷卻系統之相關議題進行研討，期間多田公司也協助安排前往關西電力公司位於兵庫縣神戶市之三宮多目標地下變電所參觀，由於該變電所之設備裝置規模及配置方式與本公司大安 E/S 之規劃較為相近；雖然該所之變電設備水冷卻系統係採用共通管(多台變電設備共用冷卻水塔)之規劃方式，與本公司大安 E/S 採用獨立配管(一台(或群組)變電設備對應一台冷卻水塔)之規劃方式略有不同，當然，在此次行程中亦學習到了這項新的系統規劃概念。實習期間多田公司亦安排前往該公司位於岡山縣之熱交換器製造工廠，實習板式熱交換器之製造流程，包括設計、製造、組裝及性能試驗。相信對本公司變電所未來若採用水冷卻系統時之板式熱交換器之應用，可以提供經驗參考，增加系統規劃之選擇性。

104 年 12 月 04 日 返程(大阪→台北)



三宮變電所入口前，與關西電力公司職員及多田公司技術人員合影



與多田公司人員於岡山縣熱交換器工廠廠區合影

參、實習內容

一、多目標地下變電所水冷卻系統規劃簡介

一般來說，變電所變電設備之水冷卻系統建置較之風冷卻式之系統而言，其複雜程度不可同日而語，從初步系統評估、選擇定案、系統規劃、建築資料確認、機器選定、設備荷重分布、機器基礎圖繪製…等，一直到後端裝機後之噪音試驗、水壓試驗、併入設備加入系統等各項工程進度協調與管理均至為繁雜且重要。

茲就本次研習習得之多目標地下變電所水冷卻系統規劃做說明，水冷卻系統規劃若依實際工程進度來區分，約可粗分為「事前檢討」及「基本細部設計」二階段，以下就此二階段分別說明：

(一)、「事前檢討」

變電設備水冷卻系統係附屬於變電所之建築物上，在進入基本細部設計之前，應對整體冷卻系統有完整之檢討(包括熱負載、冷卻水塔、環境溫度條件等)，並據以與變電所建築工程端相配合，才能規劃設計出性能可靠、符合使用者需求之水冷卻系統，因此事前檢討之廣度及深度是否完善，亦決定了整體冷卻系統工程品質及冷卻效率之良窳。

「事前檢討」之內容又可分為「基本規格之確認」及「整體系統圖建置」二部份：

1、 「基本規格之確認」檢討項目如下:

- (1). 熱負載之檢討及確認
- (2). 冷卻水量及溫度條件之檢討及確認
- (3). 水質之檢討及確認

- (4). 基本水系統概況檢討及確認
- (5). 系統運轉模式之檢討及確認
- (6). 運轉順序之檢討及確認
- (7). 補給水量之檢討及確認
- (8). 配管材質與配管口徑之檢討及確認
- (9). 膨脹水箱之容量及尺寸檢討及確認
- (10). 冷卻水塔、油水熱交換器、消音器之檢討及確認

2、 「整體系統圖建置」

- (1). 製作冷卻設備系統圖
- (2). 製作冷卻設備運轉控制說明書
- (3). 製作計量儀器設備圖
- (4). 製作計量儀器清單
- (5). 製作計量儀器規格說明
- (6). 製作電源配置圖
- (7). 製作方塊流程圖

如上所述，事前檢討之項目及內容繁多，檢討過程中一定要詳讀及確認建築端相關圖面資料內容及正確性，諸如建築平面圖、立面圖、結構圖面、計算書及相關圖面大樣圖等，據以繪製「整體配管圖」、「設備操作及支持台架圖」、「配管支持件圖」、「台架及機器設備基礎圖(含預埋金件)」、「汙排水系統圖」、「設備搬運用之臨時金件圖」等，最好在進行設計之初即掌握所有建築相關之細節，並密切與建築端之工程討論、充分配合、協調各工項之施工程序及施工方式，才能避免日後二次施工，付出

更高之成本。

(二)、「基本細部設計」

基本細部設計已經進入細部設計圖面之製作、水力計算、配管配線設計、控制迴路設計及提出安裝說明書、試運轉計畫書等必須詳細說明水系統之設備安裝及試運轉之程序說明。相關主要內容為「繪製設計圖面」及「各項計畫書製作」，說明如下：

1、「繪製設計圖面」

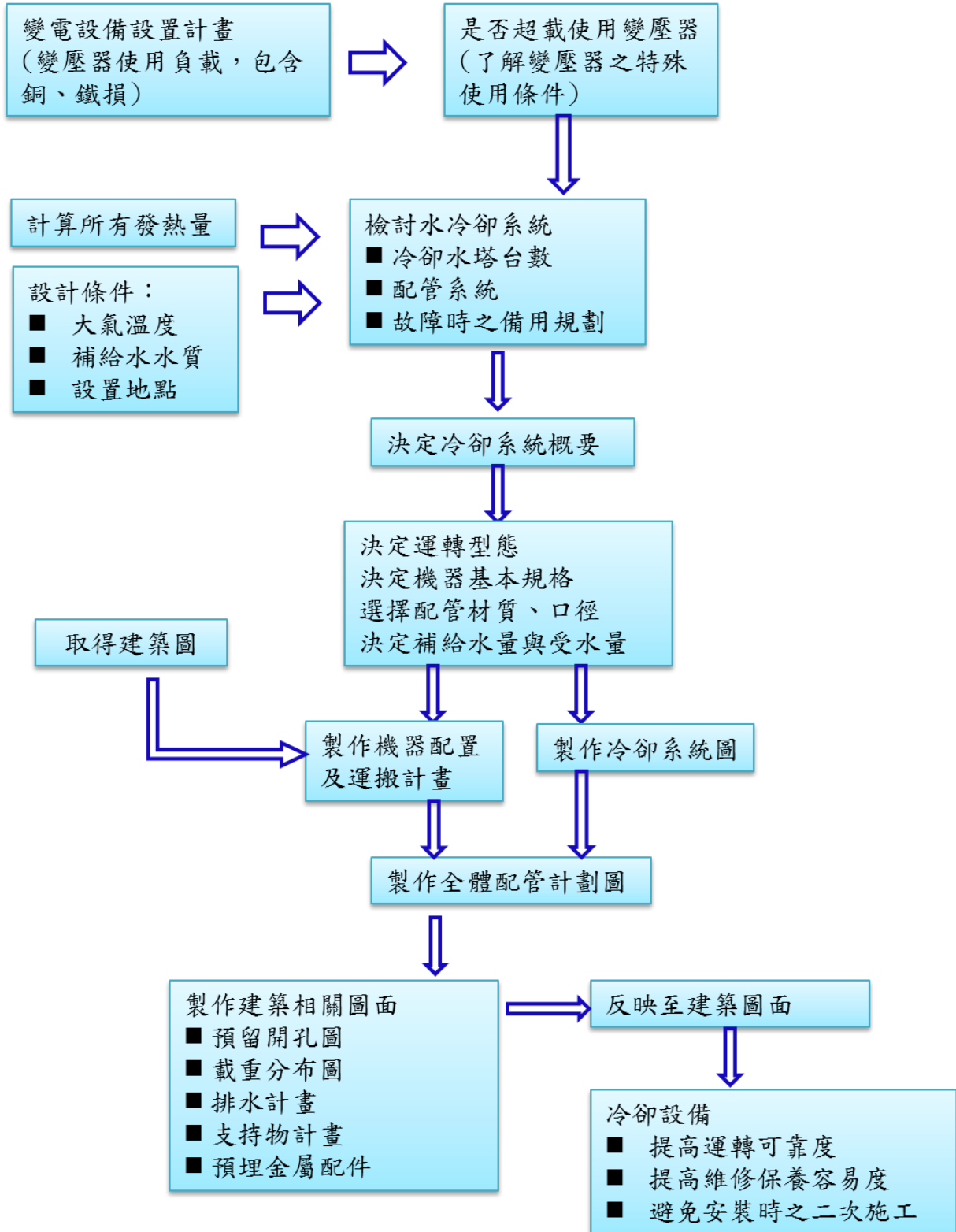
- (1). 繪製最後圖面
- (2). 彙整全部設備及零配件清單
- (3). 冷卻水量計算
- (4). 配管配線設計
- (5). 繪製系統升位示意圖
- (6). 製作細部清單(潤滑油、塗裝、特殊工具、備品、墊片)
- (7). 製作操作說明書
- (8). 製作與他項工程重要介面點清單
- (9). 再次確認契約規範要求之性能及品項

2、「各項計畫書製作」

- (1). 設備運輸計畫書
- (2). 現場安裝工作說明書
- (3). 水系統性能試驗計劃書

(4). 水壓試驗、洩漏試驗、噪音試驗

(5). 現場試運轉計畫書



建構變電設備之水冷卻系統程圖

二、參觀關西電力公司之三宮多目標地下變電所

(一)、關西電力公司(KEPCO)簡介：

關西電力公司於 1951 年 5 月 1 日創立，其主要供電範圍為日本近畿地方 2 府 6 縣（京都府、大阪府、滋賀縣、兵庫縣、奈良縣、和歌山縣、福井縣、三重縣）及岐阜縣(如圖示)，擁有 22300 多位員工，系統之尖峰發電量達 3306 萬 kW。本次參訪了關西電力公司位於兵庫縣神戶市之三宮變電所 (275kV)，以下為對此變電所之介紹。

(二)、三宮(San no miya)變電所簡介：(275kV)

因應神戶市中心大樓紛紛高層化，且辦公大樓之自動化不斷發展，相對提高對電力的需求，為確保對該地區之穩定供電，關西電力公司藉規劃第一階段之電力供應系統分散計畫之際，將電力系統延伸至電力供應不足之神戶地區，因此，在西元 1999 年(平成 11 年)3 月於神戶市中心興建完成 275kV 級之三宮變電所並開始運轉。

三宮變電所位於兵庫縣神戶市市中心地帶(中央區京町 80 號(臨大阪灣))，是關西電力公司 275kV 級之變電所，採多目標共構方式，也是關西電力公司第一座多目標全地下化變電所(地下 6 樓地上 14 樓，地下開挖深度為 35M，地面層樓高 70M)；地面 2.3 樓規劃為市立博物館用途，其他樓層則規劃為出租辦公室用途，地下 6 樓至地下 1 樓規劃為變電所用途，變電設備水冷卻系統用之冷卻水塔則配置於地上 8 樓露台。三宮變電所之既設裝置容量為 275/77kV 300MVA 氣體絕緣變壓器(GIT)二台、77/33kV 30MVA 氣體絕緣變壓器(GIT)二台，77/6.6kV 30MVA 氣體絕緣變壓器(GIT)二台，275kV LINE*2，77kV LINE*6，33kV LINE*6、6.6kV LINE*10，變電所採無人化設計，所有之運轉資訊統一由綜合控制中心(所)監控。

三宮多目標地下變電所為了實現無油化，變電設備部分設置了防災性能優越之氣體絕緣變壓器(SF6)，還有變壓器採用了水冷卻系統，而且利用變壓

器所排放出的熱能，透過水冷卻系統之熱能轉換，做為辦公大樓溫水之熱源，以達到能源之有效利用。多目標樓層作為出租辦公大樓使用，由於為無人之變電所，所內外共裝設了 20 多部的監視器，所有的監視畫面亦皆傳至控制中心(所)由遠端監控。

(三)、三宮變電所特色：

本次參觀之三宮多目標地下變電所，有如下特點可供本公司借鏡：

1、變壓器冷卻方式採水冷式

變壓器冷卻方式採水冷式，其冷卻效果及噪音改善方面皆優於風冷式變壓器，但水冷式變壓器在水質確保、水塔清洗、供水穩定等因素上較為複雜，對運轉部門而言維護較為不易。

本變電所之水冷卻系統原為一台變電設備對應一台冷卻水塔之獨立配管式水系統，因應原水冷卻系統之冷卻效率降低及配合新增變壓器之需求，必須汰換更新水冷卻系統。汰換更新規劃時，考量原 8 樓露台空間已不敷使用，無法再增加配置冷卻水塔，而改採共通管式之水冷卻系統。

共通管式水冷卻系統係以管理全部熱負載容量之方式，並將各變壓器所產生之熱，匯集至 2 根共通之熱水管(每管輸送總熱水量之 50%)，經由循環泵浦輸送至 8 樓露台之冷卻水塔後，再將所有冷卻水匯集至 2 根共通之冷水管，引接至變壓器之熱交換器。此種共通管水冷卻系統之設計方式以配管簡單及所需之控制用電動閥門較少等優點著稱，但是在備用容量之考量上，比獨立配管式之水系統不可靠是其缺點，因為，若需維修或水系統之配管、冷卻水塔故障時，勢必要將負載轉供，或降低變壓器負載使用率，無法考量 N-1 之規劃原則，此系統具有這些潛在之優、缺點。雖在本公司之變電所設備中尚無使用案例，但仍值得本公司日後有類似之規劃案件時併案參考。彙整共通管式與獨立配管式系統對本公司運用上之優缺點比較表：

| | 共通管 | 獨立配管 |
|----|--|---|
| 優點 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 電動閥件較精簡。 2. 可整體計算設備所需散熱容量，提高冷卻塔容量，減少設備配置所需空間(可多台設備共用冷卻塔)。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 一台設備對應一台冷卻器，運轉操作上較直觀，與現行維護單位之操作、運轉模式相同。 2. 單一冷卻設備故障或檢修時，可單獨停機，或以備用冷卻水塔替代。 |
| 缺點 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 無規劃備用系統，與 N-1 規劃原則不符。 2. 運轉維護需事先考量整體設備負載情形，分段停機，與現行操作運轉模式略有不同。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 配管及控制閥件較複雜。 2. 配管數量多，增加建置及維護成本。 |

2、採用不燃變壓器

因應變電所之防火對策，本變電所之變壓器採用不燃變壓器，以六氟化硫(簡稱 SF6)作為鐵心及線圈之冷卻及絕緣。SF6 與空氣及絕緣油之特性比較分析為，冷卻性較空氣好但比絕緣油差，防音性較油及空氣好，熱傳導率比絕緣油差，熱安定性較油(105℃)佳，無熱劣化現象，在中和電子方面有良好的親和能力，因此具有優越之消弧特性，在綜合評估這些條件後，一般多目標地下變電所在考量防火對策時均以此類不燃變壓器作為設備選用之考量，三宮變電所裝設之變壓器容量為 275/77kV 300MVA，是目前世界第二大容量之氣體絕緣變壓器，僅次於日本東芝公司製造之 330kV 400MVA GIT，目前安裝於澳洲電力公司(haymarket_substation)。由於目前氣體絕緣變壓器開發之最高電氣規格為 330kV 400MVA，仍低於本公司 E/S 使用之規格，因此目前本公司大安 E/S 345kV 500MVA 自耦電力變壓器仍採用油浸型之變壓器。

3、密閉型冷卻水塔

三宮變電所之 8 樓露台規劃配置了 4 台 1250kW 之密閉型冷卻水塔(TOWER EX 型)，由於露台空間有限，特別要求冷卻水塔製造商(多田公司)將須維護

之設備重新規劃於走道邊，以減少設備間之維護空間，但不影響設備之使用維護，且因應該空間不足，冷卻水塔區未設置控制盤面，全所水冷卻系統均採用 PLC 控制系統。

4、廢熱回收應用

本次參訪之三宮變電所採用水冷卻系統，有將廢熱回收供多目標辦公室衛浴之溫水使用。因變壓器等變電設備運轉時產生的熱量，須靠散熱設備經由熱循環來排除，近年本公司為配合政府節能減碳之政策，亦有探討其廢熱再有效利用之議題。

經洽詢，關西電力公司及多田公司技術人員表示，水冷式冷卻系統可較風冷式冷卻系統獲得更高之變壓器廢熱回收效率。而且，如有廢熱利用之計畫，應在設計水冷式系統時，即要將廢熱擷取設備之裝設位置、廢熱供給量、用途、使用溫度範圍等納入考量，且要考慮廢熱擷取設備故障時，不可影響變電設備及冷卻系統之正常運轉。

以日本為例，考量廢熱利用效率不大，目前均尚停留在配合政府政策、提供學術界研究及供民眾參觀用途，標榜節能減碳、能源再生及綠建築之宣示意義遠大於其經濟效益，故目前雖有極少數變電所之水冷式變壓器廢熱再利用之實績，惟亦僅用於供應多目標大樓(餐廳、飯店)衛浴熱水，尚未擴大至大型之廢熱應用(如:溫水游泳池等體育設施)，至於風冷式變壓器，因廢熱回收效率比水冷卻系統更低，目前日本之變電所亦尚無使用實績。

(四)、實景照片：



三宮多目標地下變電所外觀



三宮變電所共通管路之循環泵



三宮變電所地下層共通管路簡潔之配管現況



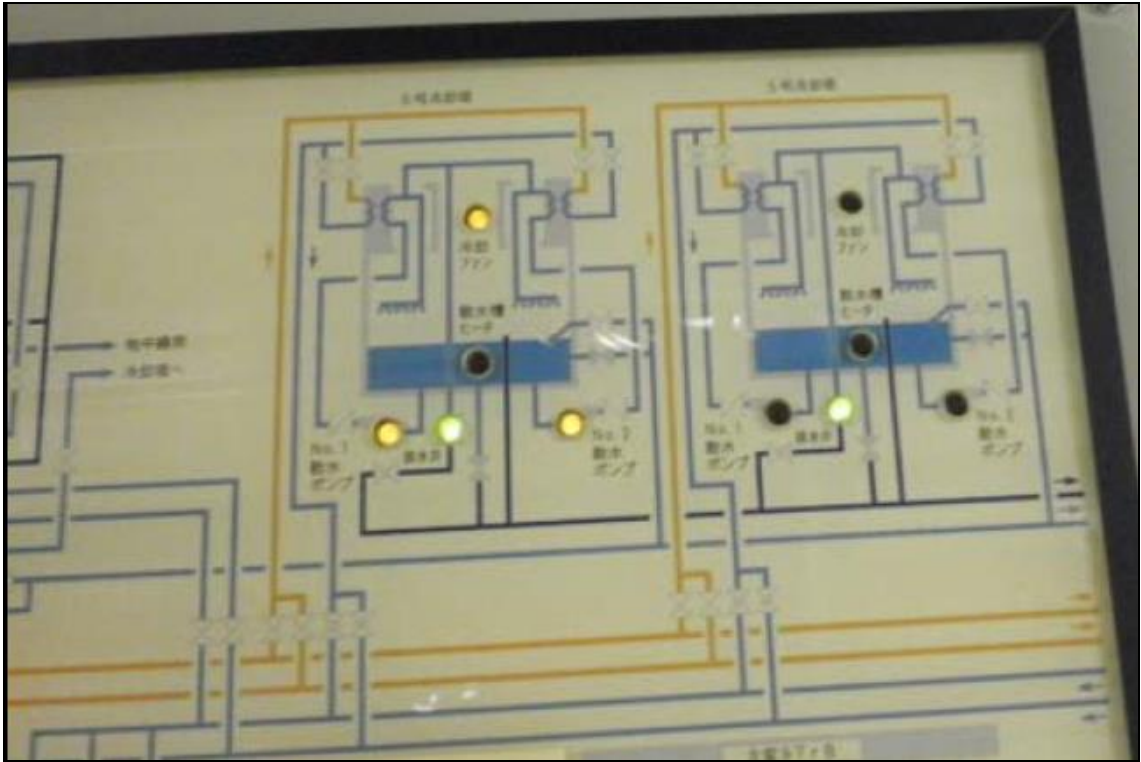
三宮變電所用密閉型冷卻水塔(TOWEREX TYPE)



275kV 300MVA 氣體絕緣開關變壓器



水冷卻系統採用 PLC 監控



位於控制室之水冷卻系統監控盤面



熱交換器出口溫度監視

三、多田公司岡山熱交換器工廠實習

(一)、水冷式冷卻器研習

由於水的比熱值遠高於空氣，比容則遠小於空氣，因此在都會區地價昂貴及大面積變電所用地取得困難之條件下，以「水」做為變電所變壓器及電抗器等發熱量較高設備之冷卻介質，是為較佳之選擇。

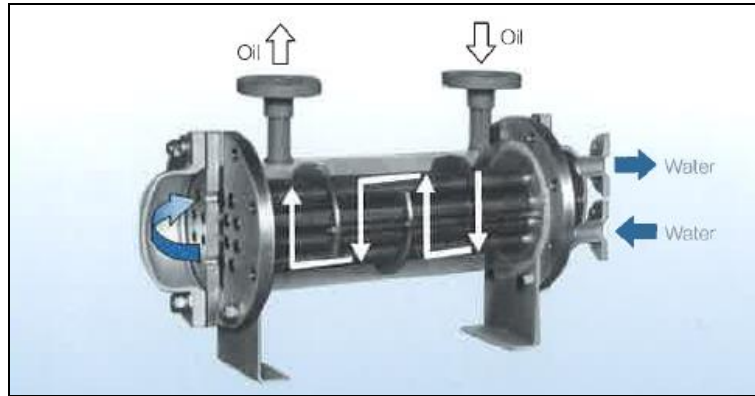
水冷式冷卻方式，是將變壓器或電抗器產生之熱量，經由熱交換器(Heat exchanger)之循環水將熱帶走，溫熱之循環水再由循環水泵(Pump)送到冷卻水塔(Cooling tower)，再次經過熱交換散熱後回到熱交換器。補給水槽(Make-up water tank)之作用則是作為補給冷卻水塔內冷卻水之蒸發損失、飛散損失、以及沖放水之損失。而補給水槽之水則由筏基層之蓄水池(Make-up water reservoir)透過揚水泵浦自動補給之。

採用水來做為冷卻介質之作法，雖可較傳統空氣冷卻方式節省大量通風管道之設置空間，但水能破壞電氣絕緣，且水從變壓器及電抗器帶走之熱量最終仍需透過設置於其它場所（通常設計於建築物之頂樓）之冷却塔將熱量散發到大氣中，最終冷卻媒體仍為空氣。因此於設備室與冷却塔間設置性能優異又不影響設備安全之水冷循環系統，是規劃設計此類變電所時重要之課題。

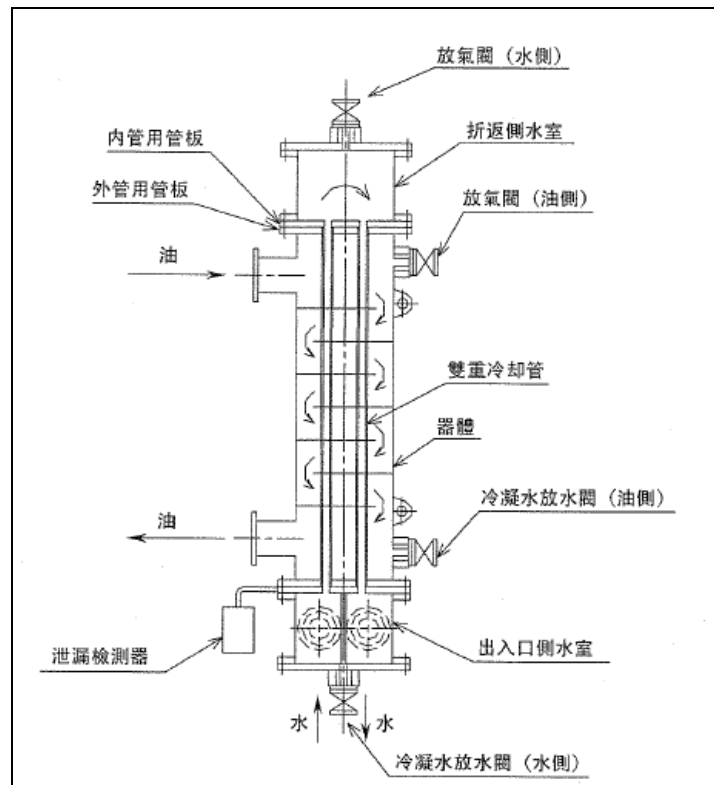
水冷卻系統主要構件必須包括「油水熱交換器」、「冷卻水塔」及「水冷卻系統設計」等，其中還包括水資源管理系統等議題。

1、油水熱交換器

油水熱交換器為避免水滲入油中，影響變壓器絕緣能力，一般均採耐腐蝕性佳之金屬雙重管之方式設計。且會在內外層管間設置洩漏檢知裝置，當雙層管有管路洩漏時，洩漏檢知裝置即會發處警報訊號，通知維護人員前往處理，避免影響絕緣油之絕緣能力。其外形及構造如下圖所示。



油水熱交換器之外形圖（資料來源：TADA 公司）



油水熱交換器之構造圖（資料來源：TADA 公司）

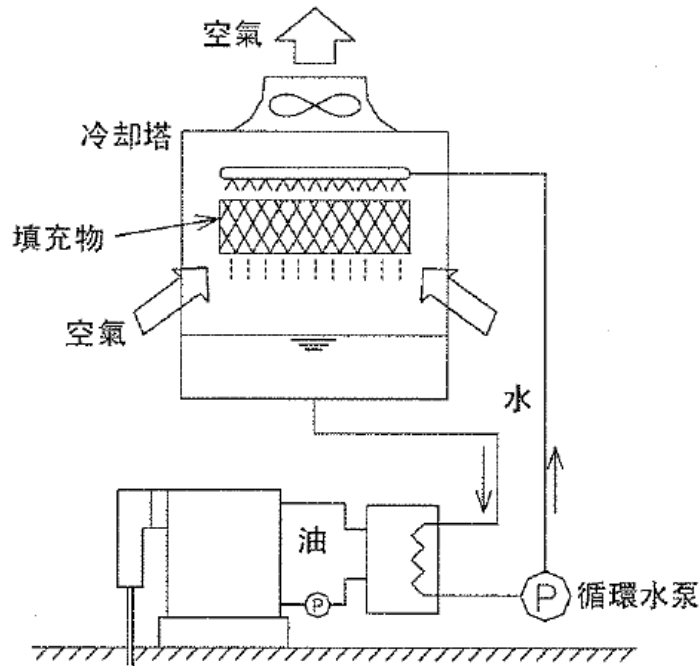
2、 冷却水塔

冷卻水塔之型式若依水與空氣是否直接接觸來判斷，可分為開放型及密閉型冷卻水塔二種。以溫水經過油（或 SF6）-水熱交換後送至冷却塔冷卻時，如溫水與大氣直接接觸，則該冷却塔則稱為開放型；若溫水未與大氣直接接觸，採密閉循環方式，則該冷却塔則稱為密閉型。

(1)、 開放型冷却水塔

開放型冷却水塔把經熱交換器輸送過來的溫水直接散發到大氣中，使溫水的一部分氣化，再利用水氣化時吸收蒸發潛熱之特性來冷却溫水，此種冷却方式之特點為冷却效率高、設備結構單純，故冷却塔可設計成體積較小之型式；但是，其缺點為大氣和溫水直接接觸，大氣內之各種粉塵或污染物，於熱交換過程中會溶入水中，讓已受污染之水於冷却系統中循環，會導致熱交換器、閥門及其他附件加速腐蝕，進而導致循環冷却系統的設備縮短壽命、降低冷卻效率或發生故障，因此為維持既定之冷卻效率與運轉壽命，運轉人員定期維修、量測水質、清洗散水用水箱及分解檢查熱交換器之頻度勢將增加。

一般而言，開放型冷卻水塔之使用壽命約 7~10 年(參考過去實際情況)，近期新開發之產品主要材質使用不銹鋼，評估使用壽命應可更加延長。因開放式冷卻水塔係將溫水散發於空氣中作熱交換，再由風扇將熱氣吹出，經由冷卻塔風扇噴出之蒸氣(白霧)，必須採用加熱或與外氣混合等方式降低濕度，才能避免白霧現象，因此可能增加設備投資費用；在維修方面需進行水質測量，清洗散水用水箱，因循環水污染而必須進行熱交換器之分解檢查，開放型冷卻水塔之架構如下圖所示。



開放型冷却塔水循環系統架構圖（資料來源：TADA 公司）

(2)、 密閉型冷却水塔

密閉型冷却水塔之循環水係密閉於管路中，在鄰近變壓器或電抗器處進行第一次熱交換，循環水經由冷却塔散水系統與水及空氣進行第二次熱交換，兩次熱交換之過程循環水僅顯熱變化，因未與其他媒介物直接接觸，故不會蒸發或流失。與開放型冷却塔相較，此種冷却方式因採間接熱交換，故效率較低、設備結構複雜、體積較大及重量較重，故初期裝置成本較高；但，此種冷却方式因循環水並未與大氣及水直接接觸，大氣與散水系統之污染物不會進入循環水中，如循環水採取適當之水質管理措施，即可大幅度抑制腐蝕和水鏽的產生，使熱交換器、閥門的性能得以維持，因其可靠度較高，維修亦較簡便，設備壽命亦較長。

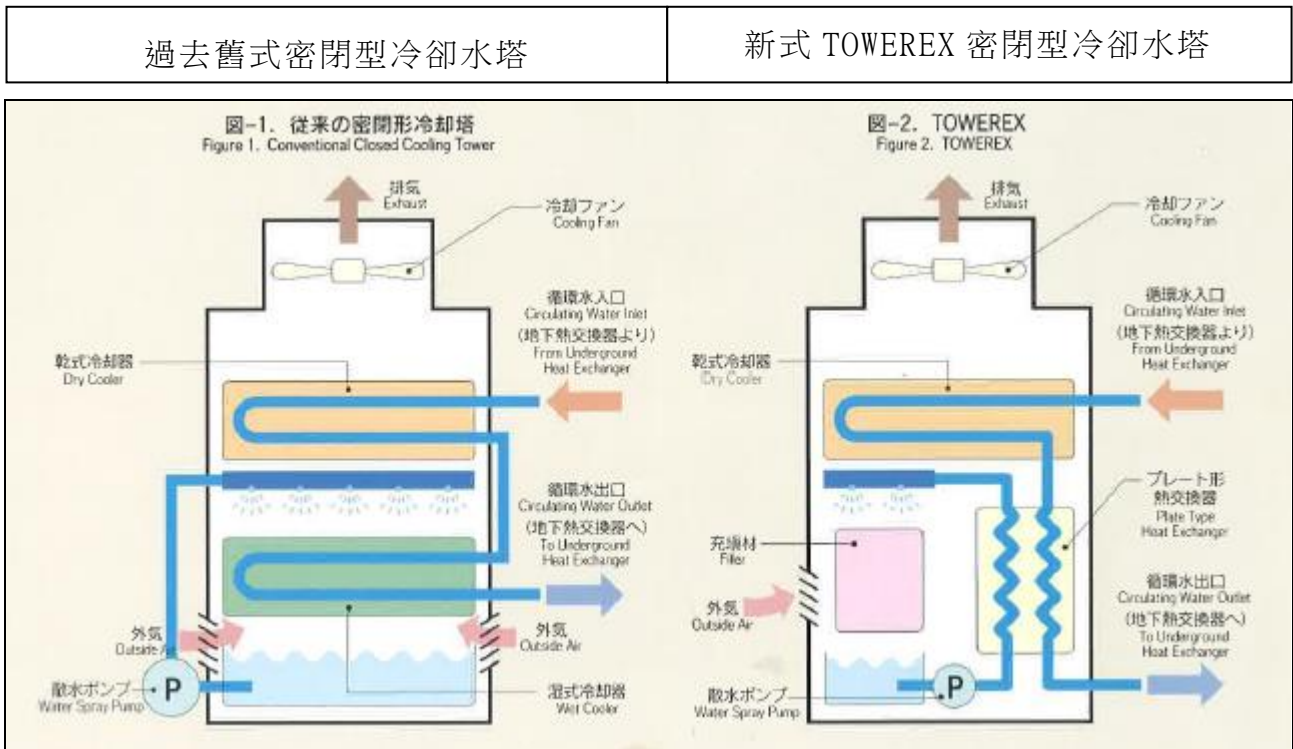
由於製造技術進步，密閉型冷却塔之體積已縮小、重量亦減輕，運輸時亦可大部分解，至現地再行組裝，故地下或多目標變電所之變壓器或電抗器如採用水冷却系統時，大都採用封閉型冷却塔。

一般而言，密閉型冷卻水塔由於主要材料使用不銹鋼等抗腐蝕材料，使用壽命約達開放型冷卻水塔之二倍(參考過去實際情況)，冷卻水塔頂部設有乾

式冷卻器，除可控制蒸氣形成白霧，冬季時可停止散水而僅做乾式冷卻，可節省能源；在維修方面除需進行水質測量，清洗散水用水箱外，還需清洗檢查熱交換器，由於 TOWEREX 形之冷卻水塔採用板式熱交換器，而板式熱交換器為用螺栓鎖固之板片元件，清洗維護作業亦相當簡便，維修參考示意及密閉型冷卻水塔之架構如下圖所示。



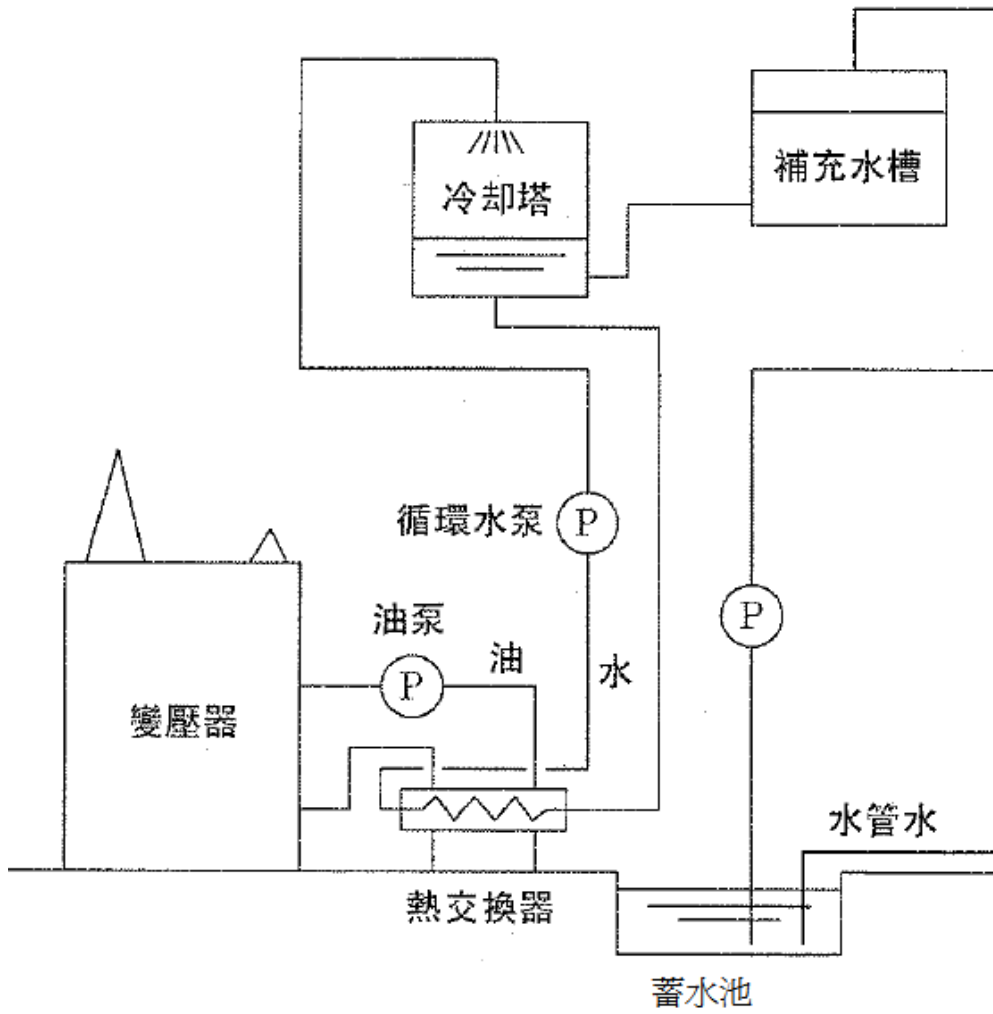
板式熱交換器維修參考示意圖（資料來源：TADA 公司）



密閉型冷却塔水循環系統架構圖（資料來源：TADA 公司）

3、水冷却系統設計

不論冷却塔採用封閉型或開放型，變壓器或電抗器之發熱量最終仍是經由水氣化時吸收蒸發潛熱或顯熱水冷却之途徑傳遞至空氣中，冷却過程水不斷氣化，故需考慮冷却塔冷却水之補給，以因應短時間內因故停水，水源供應不足之問題。通常於變電所建築物最下層設置受水池，預存全部水冷却系統 3 天至 7 天之耗水量；另亦於冷却水塔附近設置適當數量(容量)之補充水槽（考慮水箱檢查或清洗時不影響冷却塔正常運轉），以補充冷却塔耗水量。其水系統概略架構如下圖所，並試算大安 E/S 之水冷却系統補水量。



水循環系統概略架構（資料來源：TADA 公司）

試算本公司大安變電所之水冷卻系統補水量如下：

| 設備損失彙整 | 損失 | 數量 | 負載率 | 冷熱水溫差 | 循環泵浦損失 |
|------------|---------|-----|------|-------|--------|
| 345kV A.TR | 1620kW | 4 台 | 70% | 10°C | 27kW |
| 161kV SH.R | 375 kW | 2 台 | 100% | 10°C | 19kW |
| 33kV SH.R | 247.5kW | 2 台 | 100% | | |

(1)、 計算總補水量：(補水率以 2.37%計)

A.345kV A.TR 循環水量 $Q_A=2361(\text{L}/\text{min})$

$$Q_A=(1620\text{kW}+27\text{kW})\times 860\text{kcal}/\text{h}/(60\text{min}\times 10^\circ\text{C}\times 1\text{kcal}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$$

$$=2361(\text{L}/\text{min})$$

B.計算 161kV 及 33kV SH.R 循環水量 $Q_s=1811(\text{L}/\text{min})$

$$Q_s=(375\text{kW}\times 2+247.5\text{kW}\times 2+19\text{kW})\times 860\text{kcal}/\text{h}/(60\text{min}\times 10^\circ\text{C}$$

$$\times 1\text{kcal}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}) =1811(\text{L}/\text{min})$$

C.總補水量 $Q=9.96(\text{m}^3/\text{hr})$

$$Q=(2361\times 4\times 0.55+1811)\times 2.37\%=166(\text{L}/\text{min})=9961(\text{L}/\text{hr})$$

$$=9.96(\text{m}^3/\text{hr})$$

(2)、 檢討停水時，蓄水水池總蓄水量(1016m^3)可供應設備正常運轉之最長時間

$$1016 \text{ m}^3/9.96 \text{ m}^3/\text{hr}=102=4.25\text{day}>3\text{day}$$

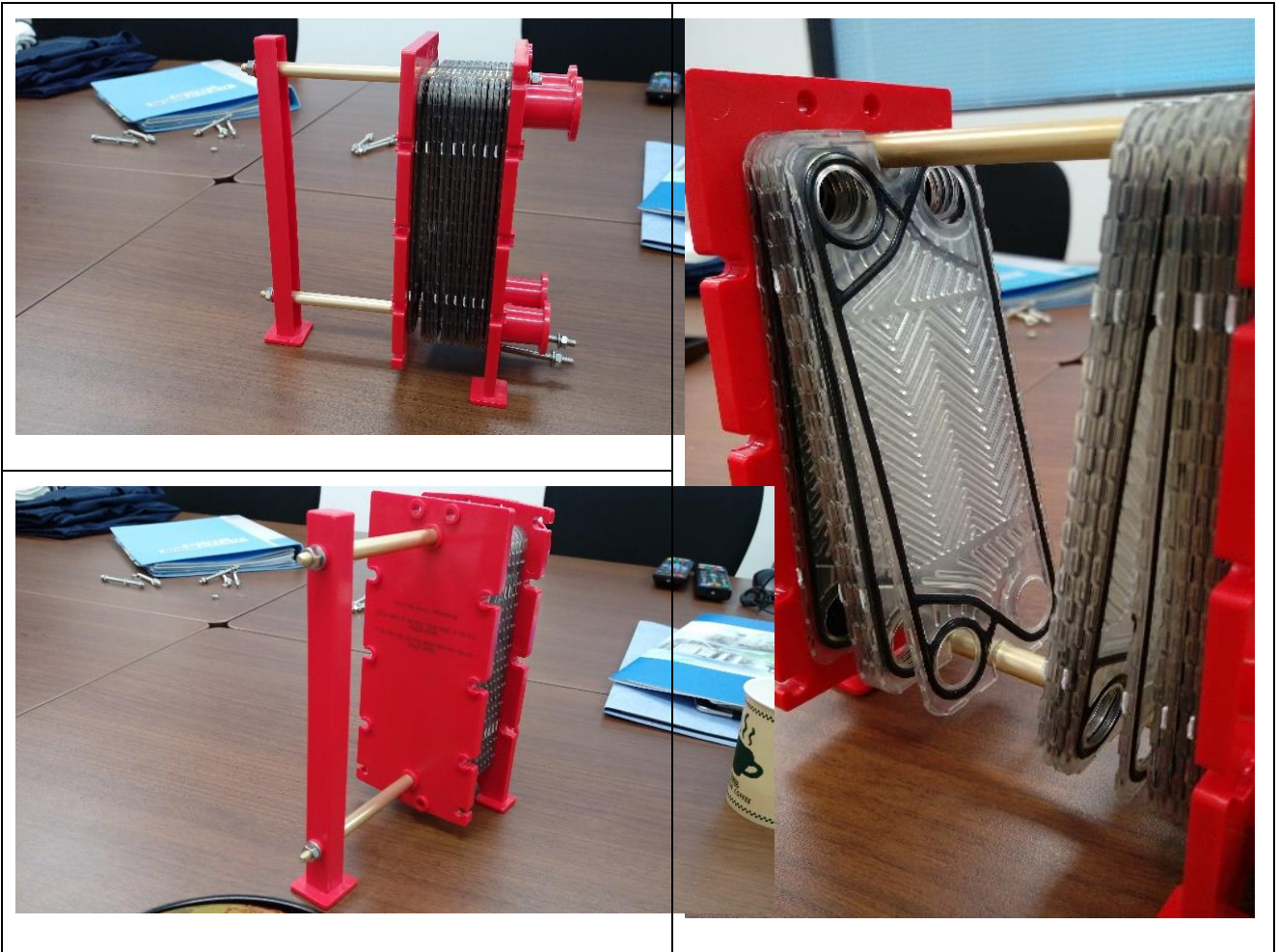
(二)、板式熱交換器研習

1、板式熱交換器簡介

板式熱交換器因具有冷卻效率高、維護檢點容易、冷卻容量調整運用彈性大…等優點，目前已有多家冷卻器設備製造廠家研製開發，相信隨著製造技術不斷進步，日後將有機會取代現行採用最多之管殼式熱交換器而成為主流。

板式熱交換器之熱交換部份由多片壓製成型之薄金屬片組成，材質一般為不銹鋼或鈦合金(Titanium)，其厚度依型式之不同，約為 0.5~ 1.0 mm，整組熱交換器之前後，由提供承受內部壓力之結構板塊構成，上下端則有上部引導板(Upper guide bar) 及下部引導板(Lower guide bar) 做為板式熱交換器薄片金屬板片的上下定位軌道。板式熱交換器之熱交換板片，裝置時分為 A、B 板片，A、B 板片其構造相同但裝置時上下方向相反，各板片之外部溝槽以安裝矽膠墊圈來密封流體。

A、B 板片都可以有兩種使用方式，既可以當作 A 板片來使用，也可以將其上下顛倒當作 B 板片來使用，具有可相互替代性。溫水與冷卻水分別由各板片之四個角落之下(上)方流入板式熱交換器，再由上(下)方孔流出。相鄰板片間間隙，則構成板式熱交換器的流體通道。溫水與冷卻水以反方向流動，藉以達到熱交換作用。下圖為多田公司訓練用之板式熱交換器模型。



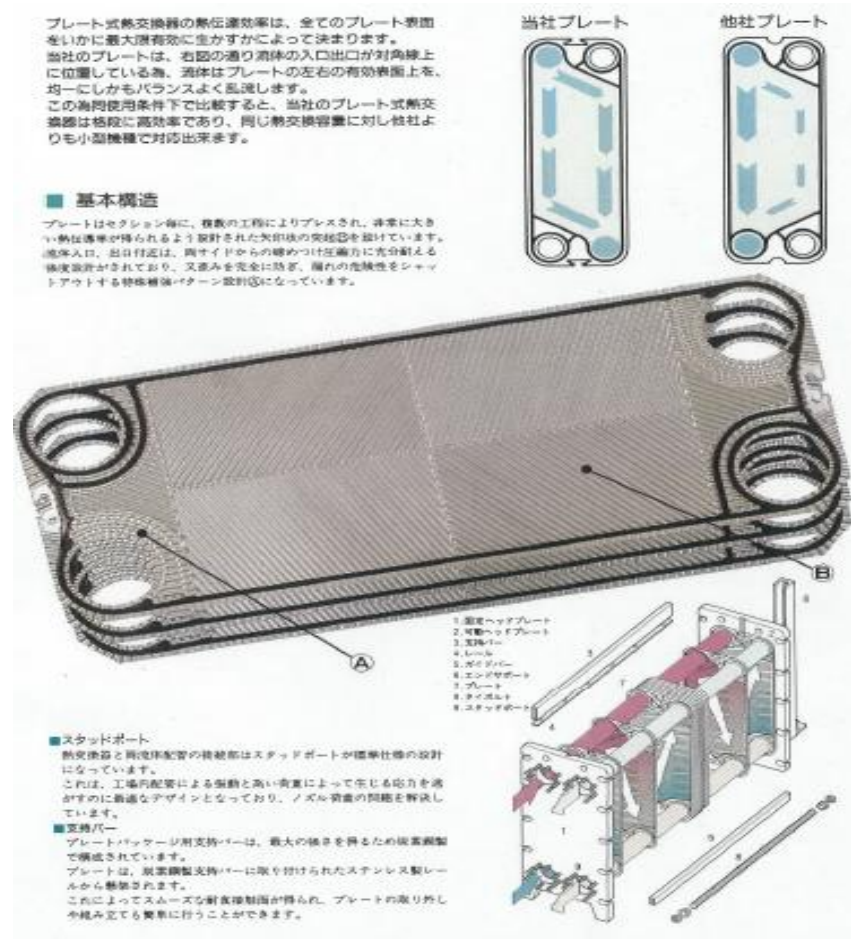
多田公司訓練用之板式熱交換器模型

2、板式熱交換器之功能特性

板式熱交換器之板片由高壓壓床壓製成型，依設計之冷卻容量之不同，其上有各種不同的花紋模式來增加其強度及熱交換面積。熱交換器板片上之花紋變化，還可增加流經板片冷熱流體之紊流性，以提高熱交換之熱傳系數。板片之四角落則設計為流體流入(或流出)之流孔。板片外圍則以安裝於板片溝槽內之矽膠墊圈來緊密封。下圖為板式熱交換器之花紋設計。

板式熱交換器之熱交換板片分為 A、B 板片，兩板片之間之空隙則型成交換器之流體通道。冷熱水以相反方向交替流經各自之流體通道，並藉此來達到高熱傳系數之熱交換作用。板式熱交換器之設計，係運用冷熱流體逆向之流動，又藉由特殊設計板片花紋以產生紊流，而得到很高之熱交換系數(約可達 $4000\sim 9000 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)，使其可運用於冷熱流體間溫差小於 1°C

之情形下進行熱交換。



板式熱交換器之花紋設計(資料來源：TADA 公司)

板式熱交換器之冷熱流體間有兩道墊圈加以隔離，當一道墊圈出問題時，流體僅會向外漏出熱交換器本體，而不會造成冷熱流體混合。熱交換器可依據所須處理之熱容量的多寡，彈性增加或減少熱交換器之板片數，適度改變其熱傳面積，以達到設計之冷卻效果。由於板式熱交換器具有高熱傳系數之特性，故在相同熱容量之條件下，可縮小所需安裝面積，且設備本身甚為輕巧(約可為同容量管殼式之 1/4 大小，1/3 重)透過管路之配置，可將板式熱交換器規劃放置於較易於維護之處所。另因板式熱交換器內積存之流體儲存量較少，故可快速起動運轉，迅速達到降溫之效果。

肆、心得及建議

一、變壓器水冷卻系統應用於多目標地下變電所

台灣因地狹人稠土地取得不易，尤其於都會區內可開發之土地資源已逐漸稀少，加上各地方政府亦要求本公司檢討將部份都會區中心之變電所規劃於地下之可行性，故位於該地段昂貴地價之變電所之地下化，並作多目標開發及異業結盟使用，雖然變電所地下化之投資成本比地上型變電所高出數倍，但著眼於土地活化及多目標空間之商業考量，在經評估可行後，此類位於都會區市中心地價昂貴地段，變電所地下化已漸漸成為發展趨勢。

因此，以高比熱性和低比容性的「水」作為都會區多目標地下變電所變壓器及電抗器等發熱量較高設備之冷卻介質，有冷卻效率高之特點，可應用於可提升整體變電所土地利用效益，是為較佳之選擇。

二、水冷卻系統規劃時之注意事項及建議

雖然採用水冷卻系統作為多目標變電所變壓器設備之冷卻方法，相對於風冷式之冷卻系統，有冷卻效率高及提高土地利用效率之優點，但由於水系統之設計比風冷系統更為複雜，如水資源不像空氣一樣容易取得，且對設備及配管之耐震、抗振、防噪音(低頻)、水錘抑制、水質及水源管理、監控系統、及搬運吊裝方面均有更高之要求。因此設置性能優異又不影響設備安全之水冷循環系統，規劃設計上應特別注意事項如下：

(一)、水冷卻系統型式之選擇：

變電所變電設備之水冷卻系統依其配管之組合方式，一般可分為「共通管式」及「獨立配管式」二種。

以本公司過去敦化變電所之規劃案例，係亦「獨立配管式」之方式規劃，即一台變電設備對應一台冷卻水塔，並配置一台備用冷卻水塔之配置方式，此種配置方式之優點為：一台設備對應一台冷卻器，在運轉維護之操

作上較為直觀，與現行維護單位之操作、運轉模式相同，且若單一冷卻水塔故障或定期檢修時，可單獨停機，並以備用冷卻水塔替代；其缺點為：配管及控制閥件較複雜且配管數量多，增加建置及維護成本。

以三宮變電所之冷卻系統採用共通管式之配置為例，係以管理全部熱負載容量之方式，並將各變壓器所產生之熱，匯集至共通熱水管，經由循環泵浦輸送冷卻水塔後，再將所有冷卻水匯集至共通冷水管，引接至變壓器之熱交換器。此種共通管水冷卻系統之優點為：電動閥件之配置較精簡且可整體計算設備所需散熱容量，提高冷卻塔容量，減少設備配置所需空間(可多台設備共用冷卻塔)；其缺點為：無法規劃備用系統，與 N-1 規劃原則不符及運轉維護需事先考量整體設備負載情形，分段停機，與現行操作運轉模式略有不同；但此種冷卻方式可因應與原規劃冷卻容量不足之場合，在無法增加冷卻水塔配置空間之情形下，以全部熱負載容量做為規劃設計之方向，亦可為特殊條件之變電所提出一可行之解決方案。

故，以本公司多目標變電所用地取得困難或無法取得足夠規劃面積之特殊條件之變電所，建議可以將「共通管式」與「獨立配管式」之冷卻系統配置方式一起納入評估考量，藉由負載特性調查、運轉維護便利性及成本分析等條件之優缺點分析，以尋求最適切之規劃方案。

(二)、 水源管理規劃：

變電所設計人員在規劃之初，即應對設備設置處所之水源資訊(如：自來水、地下水、海水或河川水)進行調查、蒐集及檢討，以及進水管之管徑及路徑規劃、進水過濾系統之設置、儲水槽及補給水槽容量及結構之要求、安全儲水量之估算及日後維護運轉對冷卻系統之水質管理等要項。

(三)、 冷卻設備選用：

採用水來做為冷卻介質之作法，雖可較傳統空氣冷卻方式節省大量通風管道之設置空間，但由於水能破壞電氣絕緣，為避免水滲入油中，在規劃選用水冷卻系統之油水熱交換器時，除整體冷卻性能及備援考量外，最好選用耐腐蝕性佳之金屬雙重管之型式，並且須設置洩漏檢知裝置，以備冷卻

循環水意外洩漏時能即時發出警報，通知維護人員前往處理，避免影響絕緣油之絕緣能力，以確保設備運轉安全。

由於水冷卻系統內之循環水或冷卻水並非採用純水，在高溫運轉及熱交換之過程中會造成水氣蒸發及逸散現象，故在冷卻水塔之選用上應以較低補水率之密閉型冷卻水塔為佳，以節省水資源；而且，密閉型冷卻水塔因循環水並未與大氣及水直接接觸，大氣與散水系統之污染物不會進入循環水中，如循環水採取適當之水質管理監視措施，即可大幅度抑制腐蝕和水鏽的產生，使熱交換器、閥門的性能得以維持，對日後之維護管理有較大之助益。

(四)、 管路系統試驗：

一般而言，地下變電所水冷卻系統之冷卻水塔均配置於地面層與大氣相接之處所(大多設於屋頂層)，因此連接熱交換器與冷卻水塔之間之配管管路揚程可能達到 50~100 公尺(三宮變電所約為 50 公尺，大安變電所約為 100 公尺)，所以對配管系統及相關配件(如：配管另配件、電磁閥等)之耐壓能力、防振抑制、水錘吸收、配管材質及配管銜接方式之要求，勢必需要特別考量，尤應訂定一水壓測試標準，於施工完成後予以驗證配管系統之耐水壓性能。以大安 E/S 水冷卻系統之案例而言，水壓試驗之要求為「水壓試驗範圍應含水配管、循環泵、冷卻水塔、油-水熱交換器及相關配管配件，壓力不得小於該管路通水後所承受最高水壓之 1.5 倍，並應保持 60 分鐘無滲漏為合格。」。

(五)、 與建築工程之介面協調、整合

由於水系統之設計比風冷系統更為複雜，如水冷卻系統之設備及配管管路對耐震、抗振、防噪音(低頻)、水錘抑制、水質及水源管理、監控系統、及搬運吊裝方面均有更高之要求，建議在變電所進行平面規劃階段和土建施工初期，應儘早引入變電設備水冷卻系統設計商參與設計、討論和協調施工介面，避免日後二次施工之機會，提升水系統之運轉可靠度及施工品質。