

出國報告（出國類別：實習）

變壓器絕緣及冷卻型式對多目標變電 所安全性影響之分析及設計實習

服務機關：台灣電力公司輸變電工程處

姓名職稱：呂銘宗 十二等電機工程監

派赴國家：日本

出國期間：101 年 12 月 2 日至 101 年 12 月 7 日

報告日期：102 年 1 月 29 日

目錄

摘要.....	II
壹、出國目的.....	1
貳、出國行程.....	2
一. 本次實習行程簡述	2
二. CESIO 公司簡介.....	3
三. 多田電機（TADA）簡介	4
四. 中部電力公司牛島町變電所(Ushijima-cho Substation).....	5
五. 中部電力公司名城變電所(Meijo Substation)	6
參、實習心得.....	9
一. PFC 液變壓器.....	9
二. 水冷式冷卻器	14
三. 綜合檢討	18
肆、建議事項.....	22

摘要

都會地區用電成長快速，需設置大容量變電所以提供可靠及穩定之電源，因地價昂貴及大面積變電所用地取得困難，變電所如何安全地與其他用途建築物共構，已成爲各先進國家研究之課題。本次實習就變壓器絕緣及冷卻型式對多目標變電所之安全性影響進行分析，並比較採用 SF6 氣體絕緣變壓器 (G.I.T)、油絕緣變壓器及複合材料 (SF6 氣體及 PFC 液) 絕緣變壓器之優缺點；另亦比較變壓器採用水冷卻型式及空氣冷卻型式之優缺點。本文亦就參訪牛島町變電所、名城變電所及訪談中部電力、多田電機 (TADA) CESIO (TADA 公司代理商) 等公司技術人員之心得，介紹日本電力公司多目標變電所目前變壓器絕緣、冷卻型式之發展與應用現況，並探討其設計上之安全考量。最後就本次實習可供參考採行之事項提出建議，以作爲日後本公司多目標或地下變電所規劃設計參考。

關鍵詞：

六氟化硫 (簡稱 SF6)

全氟化合物(Perfluorocompounds；簡稱 PFC)

氣體絕緣變壓器 (Gas Insulated Transformer，簡稱 GIT)

氣體絕緣開關設備 (Gas Insulated Switchger，簡稱 GIS)

浸油變壓器 (Oil-Immersed Transformers，簡稱 OIT)

壹、出國目的

本公司為強化多目標及地下配電變電所之安全，其電力變壓器以採用 SF6 氣體絕緣變壓器(G.I.T.)為原則，國內廠家亦配合開發 161kV/23kV 60MVA 空氣冷卻式 G.I.T.，並已安裝於信南、基信、世貿及中崙等多目標或地下變電所。因應負載成長及地下電纜被大量採用，本公司都會地區之超高壓變電所及一次變電所亦朝多目標或地下化設計，並較以往多目標或地下變電所增加配置 345kV 變壓器或 161kV 電抗器，然受限於國內廠家均無製造 345kV G.I.T.及 161kV 氣體絕緣電抗器之技術，故有必要了解先進國家電力公司於規劃及設計多目標或地下化變電所時，其高電壓及大容量變壓器或電抗器採用之絕緣介質、冷卻型式及其理由，俾利本公司參採。

都會地區變電所用地取得不易，為增加多目標變電所配置變壓器、電抗器之數量或減少地下層開挖面積，勢必得縮減傳統變壓器或電抗器之配置空間，可行之方式為採用比熱值較高之冷卻水取代比熱值較低之空氣，以較有效率地移除變壓器及電抗器之發熱量，並得以量體較小之水管取代量體較大之通風管道。考量本公司多目標或地下變電所變壓器以往均採用空氣冷卻型式，尚無使用水冷式變壓器或電抗器之實績，故有必要就採用水冷卻設備對變壓器或電抗器運轉及維護衍生之影響加以分析，俾於規劃設計時妥為因應。

國內製造之變壓器，不論其為 SF6 氣體絕緣或油絕緣，水冷式或氣冷式，其冷卻設備大多為日本多田電機（TADA）製品，本公司以往規劃之多目標及地下配電變電所亦皆請 TADA 公司代理商 CESIO 公司協助取得日本電力公司及 TADA 類似案例之資料，故本次透過 CESIO 公司安排拜訪日本廠家及電力公司人員，作雙向意見交流，並參訪日本電力公司多目標及地下變電所，深入瞭解變壓器絕緣及冷卻型式在日本電力公司之實際應用情形，及探討其設計上之安全考量，以作為日後本公司多目標或地下變電所規劃設計參考。

貳、出國行程

一. 本次實習行程簡述

1. 101年12月2日：

往程（台北→關西機場→大阪）

2. 101年12月3日：

赴CESIO公司與技術人員交流變壓器絕緣及冷卻型式對多目標變電所安全性影響之分析及設計議題。

3. 101年12月4日：

赴名古屋市參觀名古屋市牛島町變電所及名城變電所。

與中部電力公司、TADA及CESIO等公司技術人員交流變壓器絕緣及冷卻型式對多目標變電所安全性影響之分析及設計議題。

4. 101年12月5日至6日：

赴CESIO公司與技術人員交流變壓器絕緣及冷卻型式對多目標變電所安全性影響之分析及設計議題。

5. 101年12月7日：

返程（大阪→關西機場→台北）





圖 1 實習中與相關接待人員之合照

二. CESIO 公司簡介

CESIO 設立於日本大阪市，為日本多田電機（TADA）授權經銷台灣地區之獨家代理商，故國內電力變壓器或電抗器如使用 TADA 之產品時皆透過 CESIO 提供；另，因 TADA 為冷卻設備之專業製造廠，本公司有關變壓器或電抗器散熱及冷卻相關技術之檢討，亦請 CESIO 轉 TADA 協助提供可行性分析及意見。

CESIO亦代理油泵浦、馬達、開關閥、衝擊油壓電驛、撲氣電驛、溫度計、油面計、油流指示器、比壓器及比流器等，為電力變壓器或電抗器輔助設備之專業代理商。

三. 多田電機 (TADA) 簡介

TADA 為日本三菱電機 (MITSUBISHI) 之子公司，成立於 1963 年 11 月，初期以製造電力變壓器之熱交換器為主，其後將業務擴展至環境、化學及食品產業之熱交換、除濕及乾燥等應用機械之製造，員工約 320 人。國內電力變壓器或電抗器製造廠商使用之迫油迫風冷卻器 (Forced-oil forced-air coolers) 大部份即為 TADA 製。本公司既設世貿、信南及中崙等多目標變電所使用之 SF6 氣體絕緣變壓器 (G.I.T.)，其 SF6 氣體與空氣之熱交換器亦皆為 TADA 製造；另本公司唯一採用水冷式變壓器之敦化變電所，其油水熱交換器亦為 TADA 製造，足見 TADA 在熱交換器領域具有卓越之技術及良好之品質，使其產品在臺灣地區之銷售量能保持領先之地位。



圖 2 TADA製熱交換器 (資料來源：TADA網頁)

四. 中部電力公司牛島町變電所(Ushijima-cho Substation)

中部電力公司為供應名古屋市牛島地區穩定之電源，於地下 3 層、地上 40 層之 The Nagoya Lucent tower 建築物旁，興建地下 1 層、地上 3 層、電壓等級為 154kV/33kV 之牛島町變電所。該變電所為克服用地面積狹小無法設置屋外搬運道之問題，參照地下變電所之設計，將搬運道設計於屋內，電力變壓器（power transformer）室及氣體絕緣開關設備（GAS INSULATED SWITCHGEAR，簡稱 GIS）室分別位於兩側，變壓器及 GIS 安裝時設備可先暫放於搬運道，不會影響鄰近交通；變電所安裝完成後室內之搬運道亦可供做維修人員停車場，真是一舉數得。另該變電所採用浸油變壓器（Oil-Immersed Transformers，簡稱 OIT），變壓器之冷卻採水冷式設計，變壓器室油水熱交換後之熱水經由室內循環水管送至屋頂之冷卻塔冷卻，故整棟建築之外觀並未出現管路及排熱設施，與一般之住宅與商業辦公室並無不同，如未特別注意，難以發現是變電所。



圖 3 牛島町變電所外觀

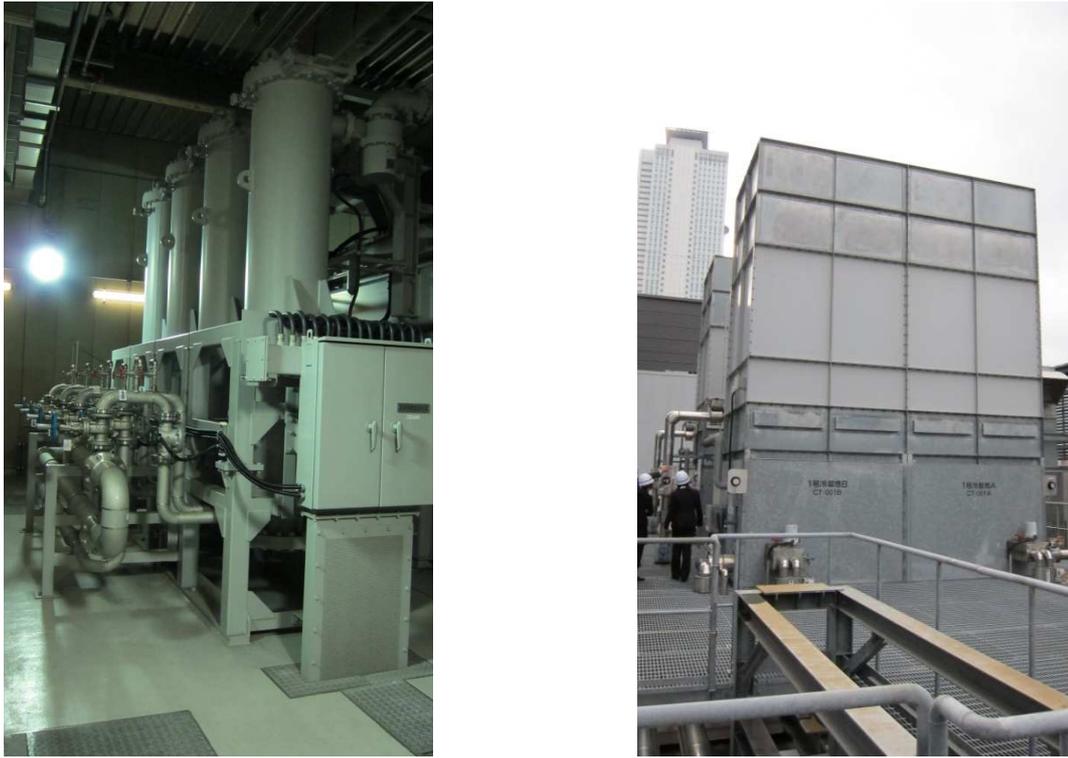


圖 4 牛島町變電所變壓器室油水熱交換器（左圖）及冷卻水塔（右圖）

五. 中部電力公司名城變電所(Meijo Substation)

中部電力公司為供應名古屋市中心穩定之電源，向名古屋市政府租用名城公園土地，於該公園地面停車場下方，興建長 90 公尺、寬 86 公尺、深 32.5 公尺、地下五層、電壓等級為 275kV/154kV/31.5kV 之名城變電所。名城變電所除必要之梯間及通風用屋突設置於地上層外，其餘設施均位於地下層。為了掩蓋變電所進排風機械發出的噪音，規劃單位將通風用屋突設計成水瀑與池塘，藉由水流聲掩蓋了進排風產生之噪音，而水瀑、池塘及傳統日式建築設計之變電所進出梯間，完全與地面層名城公園之傳統日式庭園融合，故於變電所興建完成後即獲得名古屋市「都市景觀賞」之殊榮，因而亦成為中部電力公司供來賓參觀之變電所。

名城變電所主變壓器之規格為 275kV/154kV/31.5kV 450MVA/450MVA/135MVA，並非採用傳統之浸油變壓器（Oil-Immersed Transformers，簡稱 OIT）或氣體絕緣變壓

器 (Gas Insulated Transformer, 簡稱 GIT), 而係採用全氟化合物 (Perfluorocompounds, 簡稱 PFC) 與 SF₆ 氣體複合絕緣、水冷式循環之變壓器。其中被用來做為冷卻媒介的 PFC 液, 除了具有不燃、無臭、無色、對生物無害及無腐蝕之特性外, 因為黏度非常低, 擁有較高的熱傳導率, 故具有優異的冷卻效能; 另, 於適當施加壓力下其絕緣性能為絕緣油之 1.3 倍, 較變壓器油有更佳之絕緣特性。

名城變電所主變壓器配置於地下五樓, 為減少地面層之突出建築量體, 冷卻水塔配置於地下三樓, 故與傳統冷卻水塔配置於地面層或建築物頂樓不同, 其補給水槽則設置於地面層屋突建築物內。名城變電所之另一項特點為該工程採用逆打工法施工, 由地面開挖至適當深度後即開始構築上層樓板, 再向下繼續開挖並重複此過程至預定深度, 與傳統順打工法先開挖至預定深度再由下往上施工之方式不同, 此新工法可較傳統工法節省成本。



圖 5 名城變電所入口電梯間 (上圖) 及通風用屋突設計 (下圖)



圖 6 PFC 液與 SF6 絕緣之 275kV 變壓器 (左圖) 及 PFC 液與水之熱交換器 (右圖)



圖 7 名城變電所配置示意圖 (資料來源：中部電力公司)

叁、實習心得

一. PFC 液變壓器

1. 緣起

都會地區用電成長快速，必須設置大容量變電所以提供可靠及穩定之電源，但因都會區地價昂貴及大面積變電所用地取得困難，故將變電所與其他用途建築物或公園共構之案例日益增加。就都市防災之觀點而言，將高壓及大容量變壓器安裝於大樓及地下時，應優先考量配置不燃性之變壓器，一般係採用模鑄式或 SF6 絕緣之變壓器，惟類此變壓器容量受運轉溫度、冷卻能力及製造技術之限制，如需安裝超高壓大容量變壓器時仍需選用油入式變壓器。因此開發冷卻特性優異、大容量、機體緊湊且適合裝置於地下變電所之超高壓變壓器，成為變壓器廠家努力之課題，其研究成果及製造技術亦備受各電力公司期待。

日本三菱、東芝及日立等公司為同時兼顧不燃性與大容量兩項特性，採冷卻性能與絕緣性能俱優之全氟化合物(PFC：Perfluorocompounds)做為超高壓變壓器的絕緣及冷卻材料，但由於 PFC 液與變壓器油相較，PFC 液價格太高，故廠家開發出 PFC 液減量（仍能發揮優異特性）並且能與 SF6 氣體混搭的複合絕緣變壓器。

2. PFC 液的性質

(1) PFC 液的特性

變壓器中使用的 PFC 是以 C₈F₁₆O 及 C₈F₁₆ 為主成分之全氟化惰性液體，無色透明、無味無臭且具完全不燃性，可做為超級電腦以及日本新幹線電車的車載整流器冷卻媒介，為一種冷卻特性佳及化學特性安定之液

體。

(2) PFC 液的物性

表 1 為 PFC 液的物理性質。動粘度相當低(常溫下約為變壓器油的 1/10)，絕緣能力於常壓下約與變壓器油相同。

表 1 PFC 液的物理性質(*表 25°C 時數值，資料來源：日本電氣協同)

	PFC 液 (98kPa)	變壓器 油	SF6 Gas (490kPa)	PFC 液的特徵
燃點 (°C)	不燃	130	不燃	不燃
沸點 (°C)	100	280~450		須加壓以控制沸騰
密度 (g/l) *	1760	870	31.8	絕緣件易漂浮
動粘度 (m ² /s) *	0.8X10 ⁻⁶	7.5X10 ⁻⁶	1.3X10 ⁻⁶	熱傳導性佳
比熱 (J/g°C) *	1.05	1.88	0.67	熱容量與油同等
熱傳導率 (W/m°C) *	0.06	0.13	0.014	熱傳導率低
膨脹率 (1/°C)	14X10 ⁻⁴	7.7X10 ⁻⁴	3X10 ⁻³	有利於自冷
介電係數	1.86	2.2	1.0	介電係數低
音速 (m/s) *	600	1500	130	雖為液體但音速低
水分飽和溶解量 (ppm) *	11	50		水分飽和量少
SF6 Gas 溶解量 (ml/ml) *	780	35		Gas 飽和量多
流動帶電度 (pC/ml)	0.2~0.5	40~90		流速可增大
絕緣破壞電壓 (kV/2.5mm) *	>60	>60	392kPa 下 與油相當	常壓下與油相當

(3) PFC 液的不燃性

因 PFC 液分子式中具有強大的 C-F 分子鍵結構，所以不會產生急遽氧化(燃燒)的現象。

(4) 分解 Gas 的安全性

雖然 PFC 液本身為安定性高的惰性液體，但在 200°C 以上高溫或是電弧

放電條件下，會產生微量的含有氟化氫(HF)或全氟異丁烯 (i-C₄F₈ : PERFLUOROISOBUTYLENE)等有害物質的分解生成物。

油浸式變壓器可運用油中氣體分析來診斷變壓器內部異常並據以進行必要的檢修。PFC 液變壓器亦可類同油浸式變壓器的手法來做 PFC 液中的氣體分析，期能早期檢出異常防範未然。

3. PFC 液變壓器的構造

PFC 液變壓器之設計概念如圖 8 所示，線圈及鐵心裝置在絕緣筒中，絕緣筒內填滿 PFC 液，以 PFC 液做為繞組及鐵心的冷卻與絕緣媒介，絕緣筒與外部冷卻器間則以管路銜接，以泵浦來循環 PFC 液。繞組對地的絕緣介質則採用 SF₆ 氣體，讓設備更為緊湊，以符合冷卻效果佳、噪音低及 PFC 用量儘可能減少之設計原則。此外由於不需要儲油槽，所以變壓器高度可以大幅降低，特別適用於地下變電所，可減少開挖深度，節省建置費用，使新設計之複合絕緣變壓器更符合經濟效益。

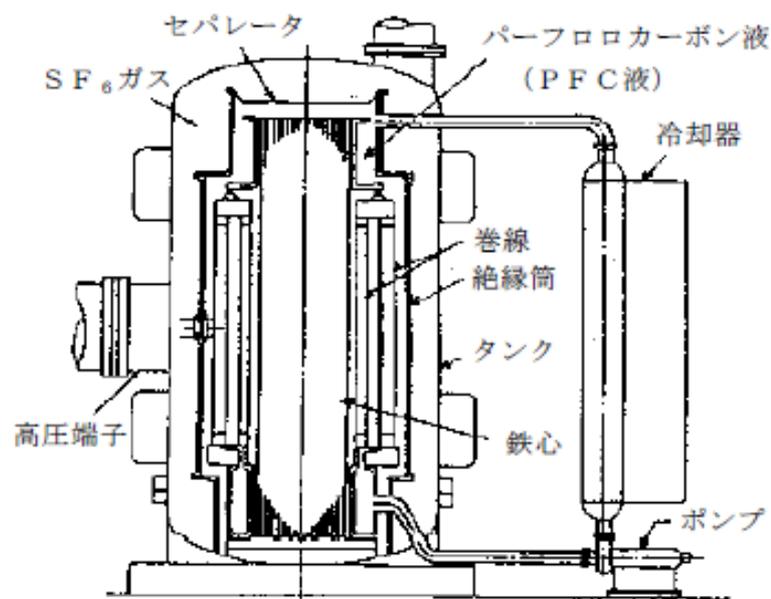


圖 8 PFC 液變壓器的概念構造圖（資料來源：日本電氣協同）

絕緣筒的上方裝設有隔板(Separator)，除分離開 PFC 液及 SF6 Gas 外，也同時兼具吸收 PFC 液膨脹收縮的隔膜(Diaphragm)功用。包含絕緣筒在內的內部構件均裝設於變壓器外殼中，而變壓器外殼與絕緣筒間則充填加壓之 SF6 Gas 以承受對地的絕緣。PFC 液因與 SF6 Gas 有隔板介面，所以壓力值基本上與 SF6 Gas 一致。變壓器外殼無論縱剖面、橫剖面都是橢圓形，對於壓力容器而言是較適當的構造。圖 9 為日本某廠家 150MVA PFC 液變壓器的內部構造圖例。

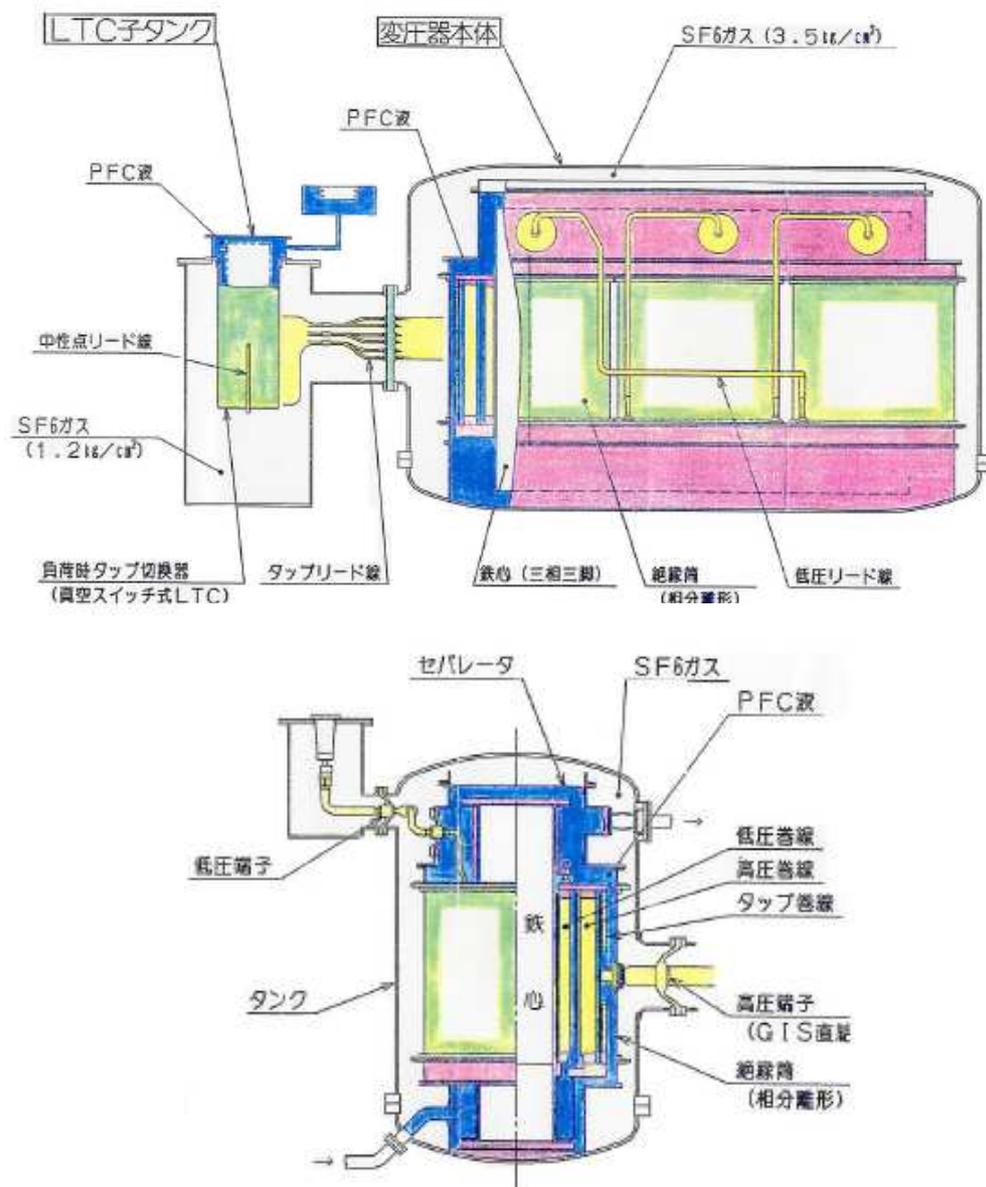


圖 9 150MVA PFC 液變壓器的內部構造圖例（資料來源：日本電氣協同）

4. PFC 液變壓器的特徵

(1) 與油浸式變壓器具同等的可靠度

因鐵心與繞組的基本構造與油浸式變壓器相同，因此現有技術均可沿用，故可維持油浸式變壓器同等之可靠度。

(2) 小型化、輕量化

運用 PFC 液優越的冷卻與絕緣特性，將鐵心與繞組直接浸於冷卻液中，可適當縮小冷卻管道(Duct)與絕緣所需之相關尺寸。另，變壓器外殼的剖面為橢圓形，為最接近變壓器主結構之形狀，與前述尺寸縮小效益相輔相成，使設計完成之變壓器符合小型化與輕量化之準則。

(3) 低噪音

因變壓器本體與外箱間封入之 SF6 Gas 可產生遮音效果，噪音可進一步降低。

(4) 易與其他 SF6 絕緣設備連結

因內部充填 SF6 Gas，故可輕易藉隔板(Separator)與其他 SF6 絕緣設備連結。

(5) 可降低變壓器高度

因藉助隔板來吸收 PFC 液的膨脹收縮，省略了儲油槽，因此高度可降低。

(6) 防爆性

若發生內部故障時，變壓器外殼內的 SF6 Gas 區間可做為一緩衝空間以降低內部壓力的上昇。此外因變壓器外殼採壓力容器的結構，因此可承較高之壓力而不致於爆裂。

5. 使用 PFC 液的變壓器種類

SF6 Gas 與 PFC 液複合使用之變壓器型式、絕緣等級、繞組構造、冷卻方式、外殼結構、開發廠家及實績案例整理如下表。

表 2 各型式 SF6 Gas 與 PFC 液複合變壓器（資料來源：日本電氣協同）

方式	液流下式	分離式	複合絕緣液浸潤式
使用媒介	SF6 Gas + PFC 液		
	流下、混合存在型	分離型	分離、液浸潤型
絕緣等級	E (120°C)		
繞組構造	方形板狀繞組	扁線繞組	圓板繞組
冷卻	冷卻 Duct 內使 PFC 液循環，直接冷卻	冷卻 Panel 內使 PFC 液循環，間接冷卻	將繞組及鐵心浸在 PFC 液中，直接冷卻
絕緣	繞組內部	SF6 Gas + PFC 蒸氣	Plastic Film
	對地絕緣	SF6 Gas + PFC 蒸氣	SF6 Gas
Gas 壓力	294kPa(2kgf/cm ² G)	490kPa(4kgf/cm ² G)	441kPa(3.5kgf/cm ² G)
變壓器外殼	非壓力容器	壓力容器	壓力容器
開發廠家	三菱	東芝	日立
實績例	275kV、300MVA (1991 年 3 月運轉)	147kV、200MVA (1989 年 6 月運轉) 275kV、300MVA (1991 年 6 月運轉)	275kV、250MVA (1991 年 6 月運轉)

二. 水冷式冷卻器

1. 緣起

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，以水來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，成為必要之選擇。採用水來做為冷卻介質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，

因此如何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，是各電力公司在規劃設計此類變電所時必須審慎評估之課題。

本次參訪之牛島町變電所及名城變電所，其變壓器皆採水冷式設計，故就水冷式系統提出個人實習心得。

2. 油水熱交換器

油水熱交換器之構造如圖 10 所示，採耐腐蝕金屬雙重管之方式設計，以避免水滲入油中影響變壓器絕緣。變壓器如採 PFC 液絕緣及做為冷卻媒介物時，其構造雷同。

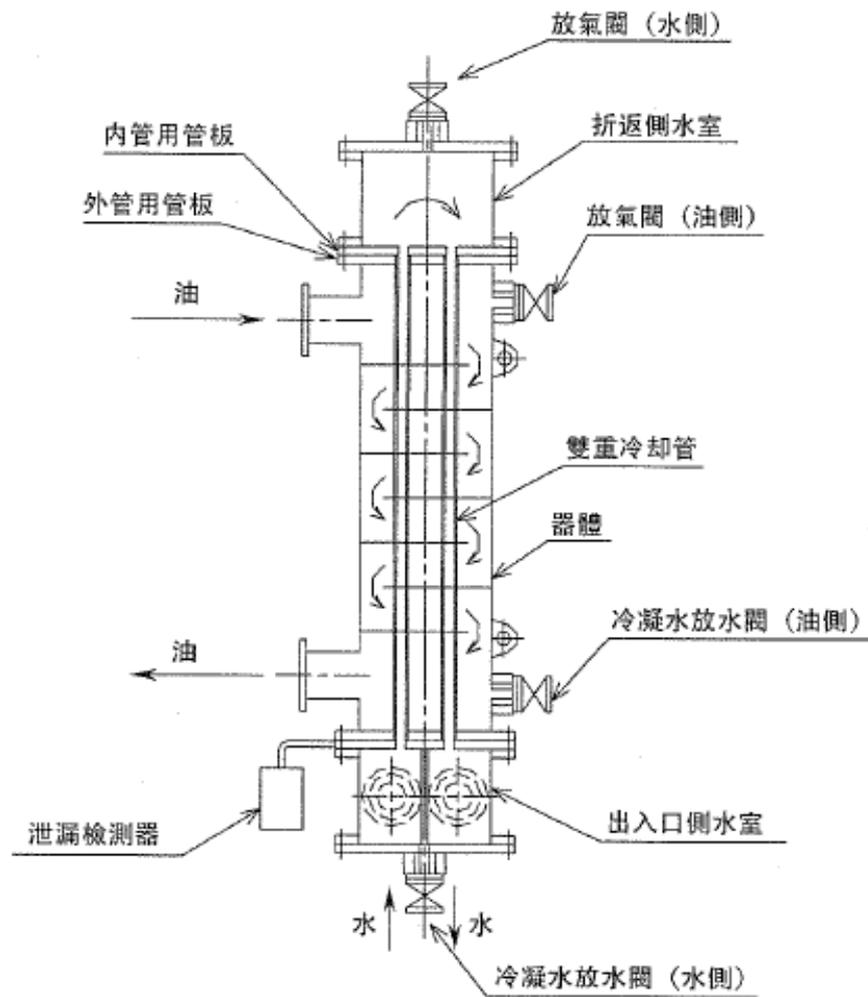


圖 10 油水熱交換器之構造圖 (資料來源：TADA 公司)

3. 冷却塔型式

經過油（或 PFC）水熱交換後之溫水送至冷却塔冷却時，如溫水與大氣直接接觸，則該冷却塔通常稱為開放型；相對地，如溫水未與大氣直接接觸，採封閉循環方式，則該冷却塔通常稱為封閉型。

開放型冷却塔把經熱交換器的溫水直接散發到大氣中，使溫水的一部分氣化，利用水氣化時吸收蒸發潛熱之特性冷却其餘的溫水，其概略架構如圖 11 所示。

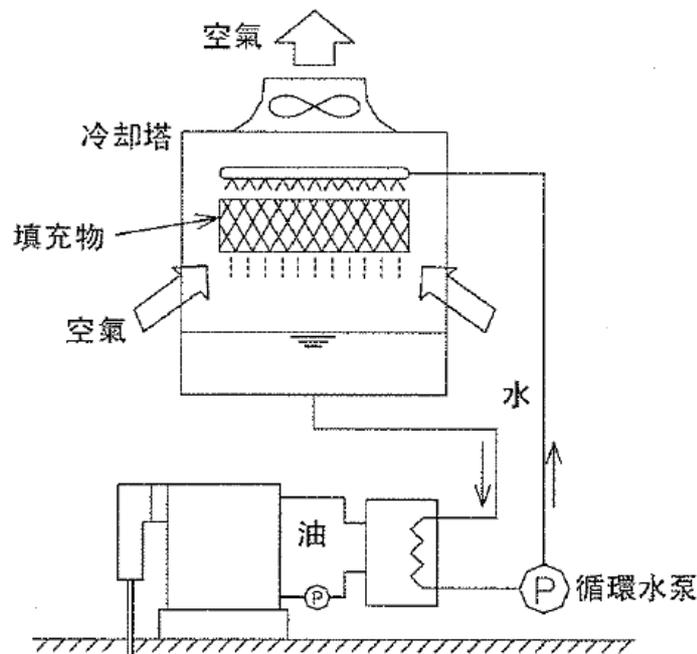


圖 11 開放型冷却塔水循環系統概略架構圖（資料來源：TADA 公司）

此種冷却方式之特點為冷却效率高、設備結構單純，故冷却塔可設計成小型；相對地，其缺點為大氣和溫水直接接觸，大氣內各種粉塵或污染物於接觸過程會溶入水中，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或發生故障，因此需要定期維修、量測水質、清洗散水用水箱及分解檢查熱交換器。

封閉型冷却塔之循環水係封閉於管路中，在鄰近變壓器或電抗器處進行

第一次熱交換，循環水經由冷卻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，其概略架構如圖 12 所示。

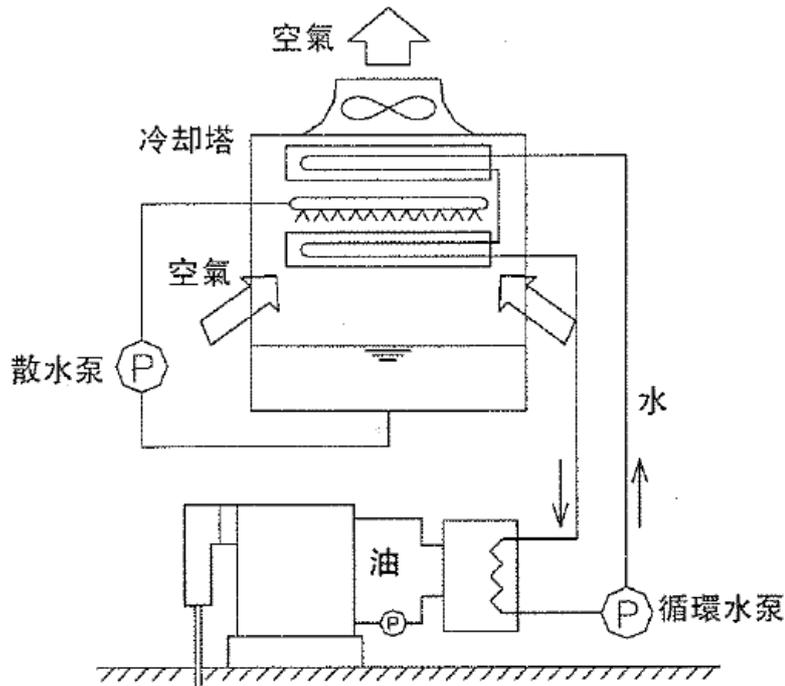


圖 12 封閉型冷卻塔水循環系統概略架構圖（資料來源：TADA 公司）

與開放型冷卻塔相較，此種冷卻方式效率較低、設備結構複雜、體積較大及重量較重，故初期裝置成本較高；相對地，此種冷卻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，封閉型冷卻塔之體積已縮小、重量亦減輕，故地下或多目標變電所之變壓器或電抗器如採用水冷卻系統時，大都採用封閉型冷卻塔。

4. 水冷卻系統

不論冷卻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之途徑傳遞至空氣中，冷卻過程水不斷氣化，故需考慮冷卻塔冷卻水之補給，以因應短時間內水源供應不足之問題。通常於變電所建築物最下層設置蓄水池，預存全部水冷卻系統 3 天至 7 天之耗水量；另亦於冷卻塔附近設置 2 個以上之補充水槽（考慮水箱檢查或清洗時不影響冷卻塔正常運轉），以補充冷卻塔數小時之耗水量。其水系統概略架構如圖 13 所示。

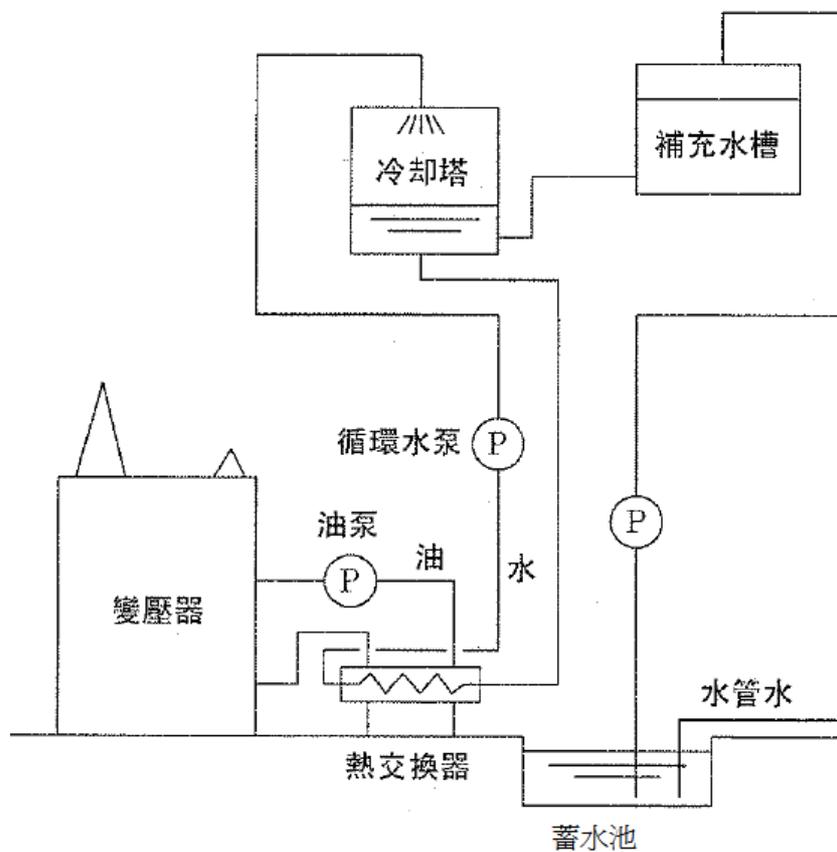


圖 13 水循環系統概略架構（資料來源：TADA 公司）

三. 綜合檢討

就防災之觀點而言，多目標及地下變電所應優先考量配置不燃性之變壓器及電抗器，惟目前已商業化生產者僅 PFC 液與 SF6 氣體複合絕緣變壓器及 SF6 氣體絕緣變壓器，並無廠家開發 SF6 氣體絕緣電抗器。考量經濟效益，日本亦僅少量 PFC 液與

SF6 氣體複合絕緣之變壓器使用於多目標及地下變電所，且除日本東芝有最高額定達 330kV 400MVA GIT (SF6 採 0.43MPa 設計) 之製造實績外，其它廠家均無設計及製造 330kV 以上 GIT 之經驗，因僅極少數廠家擁有技術，故高電壓大容量之不燃性變壓器非常昂貴。中部電力公司人員表示，以名古屋地區為例，即使是使用 SF6 氣體絕緣之變壓器或開關設備，仍需設置消防系統，且因 SF6 為環境危害氣體，如洩漏量超出環保法規，電力公司會受到嚴厲處罰，因此在兼顧經濟及環保之考量下，多目標及地下變電所亦大量採用浸油變壓器；至於浸油變壓器可能產生燃燒之問題，中部電力公司係於採購變壓器時嚴格管控品質，並於加入系統後落實維護保養。因此本公司多目標使用之變電所，其變壓器及電抗器如因製造技術受限或經濟考量，無法避免使用浸油式變壓器及電抗器時，宜參照中部電力公司之作法於採購時嚴格管控品質，並於加入系統後落實維護保養；另亦可考量於採購時提高設備之絕緣等級，加裝線上監控及保護裝置，以盡可能防範設備發生事故。

牛島町變電所為克服用地面積狹小之問題，名城變電所則為減少地下室開挖面積及減少地面層屋突量體，故變壓器皆採用水冷卻方式設計。以移除變壓器及電抗器之發熱量而言，水冷卻型式較空氣冷卻型式有效率；以設置空間而言，水冷式冷卻塔及補充水槽可設置於建築物之頂層，蓄水池可設置於建築物筏基，不佔用建築物及地面層之空間，僅熱交換器與冷卻塔間需規劃管道佈設水管，其所需空間遠小於傳統空氣冷卻之通風管道。相對地，水冷式之熱交換器、冷卻塔、管路、泵浦、控制閥、水質管理、水源管理及備援系統等，遠較空氣冷卻方式複雜（以牛島町變電所為例，水冷式相關設備如圖 14 所示）；另水冷式設備之成本亦遠高於空氣冷卻設備。考量本公司多目標或地下變電所變壓器以往均採用空氣冷卻型式，尚無使用水冷式變壓器或電抗器之實績，故有必要就採用水冷卻設備對變壓器或電抗器運轉及維護衍生之影響及兩種設計方式優缺點、成本等加以分析，俾於規劃設計時通盤考量。





圖 14 牛島町變電所水冷式設備

變壓器及電抗器因運轉而產生的熱量，須靠散熱設備經由熱循環來排除，近年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。如有廢熱利用之計畫，則在設計冷却塔水冷式冷却設備時，即要考慮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，且要考慮廢熱擷取設備故障時，不可影響變壓器及電抗器冷却設備之正常運轉。本次參訪之牛島町變電所及名城變電所其變壓器雖皆採用水冷式冷却設備，惟皆未安裝廢熱再利用之設備。經洽詢，中部電力公司及 TADA 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，以日本為例，大部分是配合政府政策、提供學術界研究及供民眾參觀用，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，故目前雖有極少數水冷式變壓器廢熱再利用之實績，惟亦僅用於供應大樓(餐廳、飯店)衛浴熱水，尙未擴大至溫水游泳池等體育設施，至於風冷式變壓器，因廢熱回收效率較低，目前尙無使用實績。

肆、建議事項

- 一、除地下變電所外，目前本公司設計之變電所皆於所內設置至少 5.5 公尺寬之屋外式大項器材（變壓器、電抗器及 GIS 等）搬運道，故變電所佔地面積大，建議本公司北、中及區施工處在都會地區地價昂貴且大面積變電所用地取得不易時，可參考中部電力公司牛島町變電所之設計方式，將大項器材搬運道設置於變電所建築物內，並將室內搬運道設計成通風、維修及緊急避難通道，充分有效利用空間，如此變電所用地寬度至少可縮減 5.5 公尺。
- 二、本公司為符合都會地區供電需求及充分利用土地，於規劃興建變電所時亦考量多目標使用之可行性，考量公共安全，變電所雖以採用不燃性設備為原則，然受限於製造技術，目前除國內廠家已與日本技合廠家共同開發 161kV 60MVA GIT 外，尙無開發 161kV 120 MVA 或 200MVA GIT 之計畫；另經透過國內廠家洽詢日本技合廠家，目前並無不燃性電抗器之開發計畫，已製造完成之不燃性變壓器其最高額定電壓為 330kV，最高額定容量為 400MVA，且僅日本東芝公司有製造實績，

故公司已動工興建之萬隆一次變電所及大安超高壓變電所勢必仍須採用浸油變壓器及電抗器，建議本公司企劃處透過與日本各電力公司定期交流之機制，請其提供該公司計劃或已興建完成多目標變電所之名稱、地點、多目標設計之理由及變壓器、電抗器之電壓等級、裝置容量、絕緣型式（浸油、填充 SF6 氣體或 PFC 液與 SF6 氣體複合絕緣）等，俾各上級機關、民意代表或民眾關切時，本公司可立即提供完整之資料說明，於第一時間展現評估過程及化解其安全疑慮。

三、本公司除敦化配電變電所曾配置水冷式變壓器外，其他變電所之變壓器皆採用空氣冷卻型式，大安超高壓變電所因用地限制亦已規劃採用水冷式變壓器。水冷式變壓器需設置相關熱交換器、冷卻塔、管路、泵浦、控制閥、水質管理、水源管理及備援系統等，與傳統空氣冷卻方式相較，除設備增多外，其維護、運轉及監控亦更複雜，考量接管部門對水冷式變壓器之運轉及維護經驗較少，建議北區施工處先調查台北供電區營運處對水冷式變壓器運轉及維護之需求，俾於爾後變壓器採購時盡可能納入採購規範要求廠家配合提供。

四、目前變壓器廢熱回收再利用尚未普及化，廢熱回收設備成本高昂，如為利用變壓器廢熱，將原可採用空氣冷卻之變壓器，修改為水冷式，除大幅增加設備採購費用外，相關設備零組件亦增加，故可能發生故障之點亦增加，並不利於供電安全；另，變壓器廢熱回收投資成本遠高於節能減少之支出，完全不符經濟效益。故整體而言，在本公司財務已顯緊澀之情形下，變壓器廢熱再利用是弊遠大於利，建議本公司多目標變電所暫不考慮變壓器廢熱再利用。