

出國報告(出國類別：實習)

## 地下電纜洞道通風冷卻系統之技術及應用

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：林景融 十一等電機工程監

派赴國家：日本

出國期間：100/12/11~100/12/16

報告日期：101/02/09

QP- 08- 00 F04

~ 0 ~

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：地下電纜洞道通風冷卻系統之技術及應用

頁數 28 含附件：是否

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

林景融/台電公司/北區施工處/十一等電機工程監/02-23229918

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：100.12.11~100.12.16 出國地區：日本

報告日期：101.2.9

分類號/目

關鍵詞：通風冷卻、間接水冷卻、洞道、交連 PE 電纜、OF 電纜。

內容摘要：(二百至三百字)

**壹、計畫緣由及目的：**為確保洞道內佈設之電纜線路送電容量與電纜之壽命及進出洞道工作人員安全，需考量適當的降溫措施。因此本次研習計畫的目的即在參訪日本同業，探討地下電纜洞道應採用何種冷卻系統才是最經濟實惠又能達到散熱目的的技術。

**貳、地下電纜強制冷卻系統的種類與特徵。**

**參、冷卻系統比較及計算模型簡介。**

**肆、參訪公司及工程簡介：**拜訪日本中部電力株式會社，研討地下電纜線路使用冷卻系統的設計概念及考量因素，並參觀梅森~金山 275kv 線洞道間接水冷卻系統；再轉往大阪參觀關西電力株式會社施工中百濟~美章園地下電纜管路推管新設工程及多奈川「共火線和共火 P/S 引出線工程(新#28 連接站鐵塔新建)。

**伍、實習感想與建議**

# 目 錄

	頁碼
一、前言 .....	P3
二、地下電纜強制冷卻系統的種類與特徵 .....	P3
1. 各式強制冷卻系統簡介 .....	P3
2. 強制冷卻送電容量增加率 .....	P6
3. 地下電纜洞道設置冷卻系統之主要目的 .....	P6
三、風冷系統與間接水冷卻系統比較 .....	P6
A. 洞道內風冷系統 .....	P8
B. 洞道內水冷卻系統 .....	P12
C. 風冷系統及水冷系統比較表 .....	P16
四、冷卻系統計算模型簡介 .....	P17
A. 風冷卻計算模型 .....	P17
B. 水冷卻計算模型 .....	P20
五、參訪公司及參訪工程簡介 .....	P23
A. 日本中部電力株式會社 .....	P23
B. 參訪梅森~金山 275kv 線水冷卻系統 .....	P24
C. 參訪百濟~美章園電纜管路新設工程 .....	P26
D. 參訪「多奈川」共火線和共火P/S引出線工程(新#28連接站鐵塔新建) .....	P26
六、實習感想與建議 .....	P27
七、參考資料 .....	P28

## 一、前言

隨著經濟成長與人民生活水準的提高，用電亦持續成長，惟在時代進步及社會環境變遷與民主意識高漲下，新建輸變電工程屢遭抗爭排斥，在民眾要電但不要輸變電設施情況下，致架空輸電線路施設十分艱難，因此近年來，為建構輸電網路，於都市範圍內配合居民對空間需求及市容景觀的要求下，已幾乎都需要以地下電纜方式佈設輸電網路。

台灣地小人稠，除新開發市鎮、工業區、科學園區等道路開發可配合埋設管路或利用新興共同管道施設電纜外，尚有不少城鄉因既有道路蜿蜒狹小或交通繁忙、或穿越既有障礙物、或施工路證無法獲道路主管機關同意核准取得等等原因，而需思考改以洞道方式佈設地下輸電電纜。

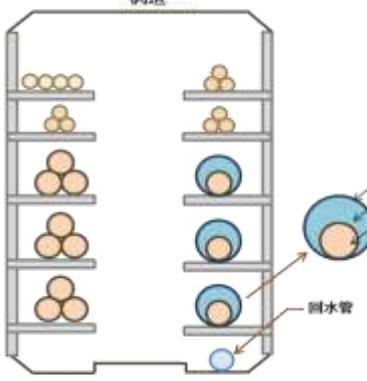
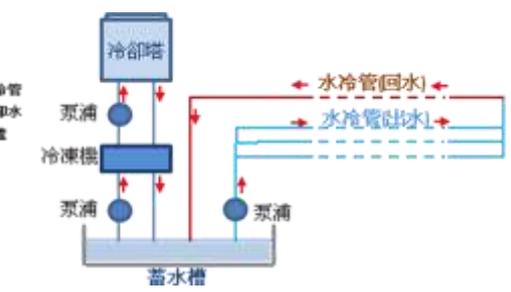
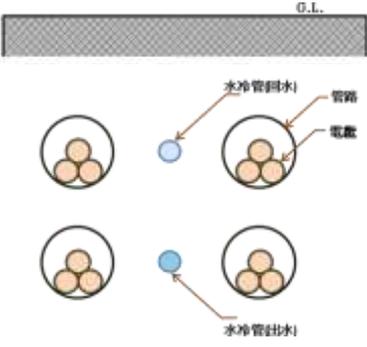
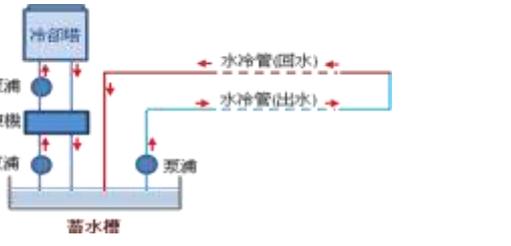
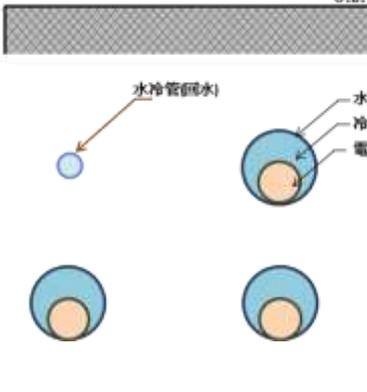
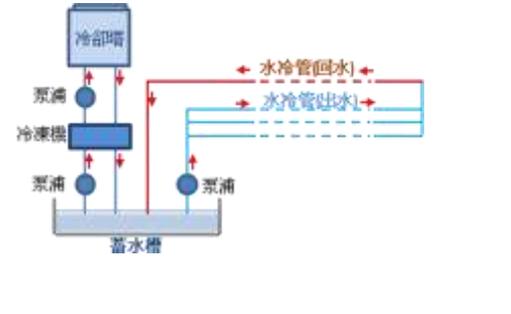
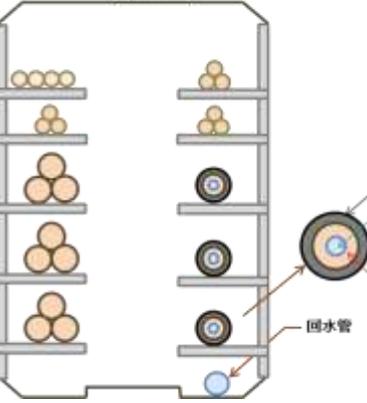
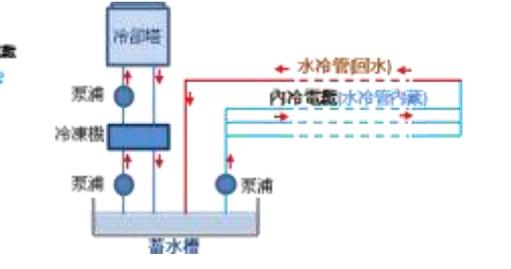
如何提高地下電纜送電容量與很多因素有關，諸如電纜纜線本身的結構、尺寸、材質、周圍環境、管路埋深、電纜線路排列方式等，其中探討如何有效降低電力電纜線的散熱問題，即為目前國內外經常使用的解決之道。本次實習要點即以參訪、擷取日本電力公司在電纜地下化，有關通風與冷卻相關技術的設計與實務經驗，作為本公司地下電纜於類似情況施設時的參考，進而提昇我國在這一方面的設計能力以及相關的通風、冷卻技術。

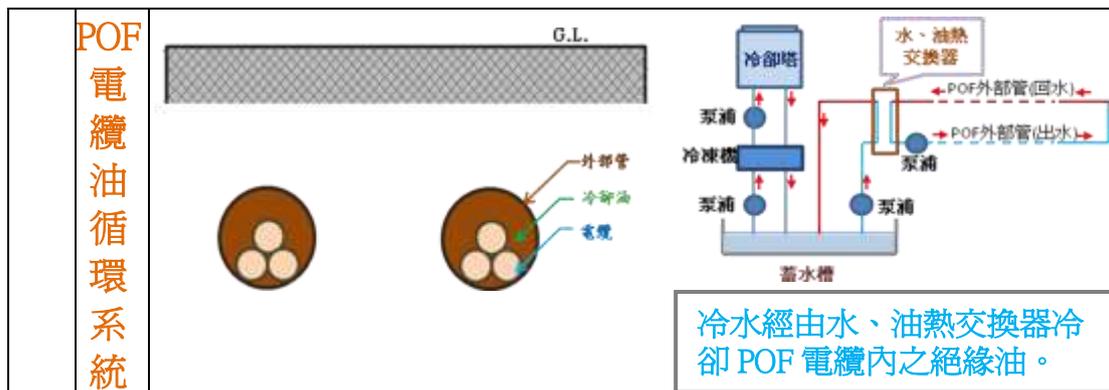
## 二、地下電纜強制冷卻系統的種類與特徵

日本電力公司曾經或研討使用的地下電纜強制冷卻方式概略統計共有以下所列八種，即為①.洞道內風冷系統.②.洞道內間接水冷系統.③.洞道線槽內間接水冷系統.④.洞道內直接水冷系統.⑤.管路間接水冷系統.⑥.管路直接水冷系統.⑦.電纜內部冷卻系統.⑧.POF電纜油循環系統。

**1.各式強制冷卻系統簡介:**地下電力電纜線路的強制冷卻系統，如前所述主要依電纜線施設於洞道或管路內，而區分為間接冷卻方式或直接冷卻方式。以下再以圖示方式列出各冷卻系統施設概要。

	<p>洞道內風冷系統</p>		<p>藉由風機將洞道內空氣與外氣循環間接冷卻電纜。</p>
<p>洞道佈設</p>	<p>洞道內間接水冷系統</p>		<p>經由冷凍機及冷卻水塔製造冷水，經冷水管送至洞道間接冷卻電纜。</p>
	<p>洞道線槽內間接水冷系統</p>		<p>基本組成與洞道內間接水冷相同，線槽內佈設電纜及水冷管。</p>

	<p>洞道內直接水冷系統</p>		<p>基本組成與洞道內間接水冷相同，水冷管內佈設電纜及冷水直接冷卻。</p> 
<p>管路佈設</p>	<p>管路間接水冷系統</p>		<p>由冷卻水塔將冷水由水冷管送出，冷卻土壤，間接冷卻電纜。</p> 
	<p>管路直接水冷系統</p>		<p>由冷卻水塔將冷水由水冷管送出，直接在水冷管內冷卻電纜。</p> 
<p>其他</p>	<p>電纜內部冷卻系統</p>		<p>電纜導體內配置水冷管，冷水經由水冷管送出直接冷卻電纜。</p> 



**2.強制冷卻送電容量增加率:**下表為日本電氣協同研究會統計有關使用這八種強制冷卻系統冷卻電力電纜後，電力電纜線路送電容量增加率一覽表。

	冷 卻 方 式	送 電 容 量 的 增 加 率
洞道佈設	洞道內風冷系統	1.2~1.3
	洞道內間接水冷系統	1.2~3.3
	線槽內間接水冷系統	1.3~2.3
	洞道內直接水冷系統	2.0~2.5
管路佈設	管路間接水冷系統	1.2~2.0
	管路直接水冷系統	2.0~2.5
其他	內部冷卻系統(水冷)	2.0~10
	POE 電纜油循環系統	2.0~2.5

**3.地下電纜洞道設置冷卻系統之主要目的:**係在於提高電纜的額定送電容量，並提供巡查、維護人員進出安全之必要設施。其規劃之基本原則如下：

- (1).有效去除洞道內熱量，俾降低電纜溫度，以提高纜線輸電容量。
- (2).將系統最佳化設計，降低初置成本與操作成本。
- (3).需能有效、方便管理，並降低維護成本。
- (4).冷卻系統需考量經濟性、堅固性、將來擴充性，及易於維護保養，並達到防止事故及公害發生。

### 三、風冷系統與間接水冷卻系統比較

洞道內風冷系統與間接水冷卻系統比較，後者特徵為可達較長的冷卻區間，且以水冷管間接冷卻系統設置時，可考量依不同線路結構(網狀線路結構或單一線路結構)，設計採全部洞道或僅部份特定洞道給予地下電纜線路冷卻，以提高冷卻效率，其施設條件與風冷系統相同，即決定了洞道內的作業溫度(一般為 37°C) 為設計標準後，以滿足此標準為目標進行冷卻系統設計。

(一)、風冷系統及間接水冷系統均適用於洞道配置，惟風冷系統與其他系統相比，其裝置簡單且易於保養，但因需吸取外部空氣，故易受外在溫度影響，冷卻效果在夏季及冬季就有很明顯的差別。另為考量進出洞道工作人員安全，風機之通風換氣於出入口之風速應設在 5.0 m/s 以下，洞道內之風速應設在 3.0 m/s 以下，再加上廢氣排放溫升的考量(一般為 5~8°C)，以致利用通風冷卻之區間無法加長。因此風冷系統多應用於較短距離的洞道冷卻設計。

(二)、長距離的冷卻一般則採用水冷系統方式，其又可區分為直接水冷及間接水冷兩種。例如有需要針對特定的電纜線路進行冷卻時，採用直接水冷方式較為有利，若僅考慮降低洞道內的溫度，則採用間接水冷方式較為有利。直接水冷因可直接冷卻電纜線，故冷卻效果最好，但因水壓長時間作用於電纜線上，所以對於電纜線包覆的耐水性及接續部的冷卻方法等，在設計上必須特別注意。

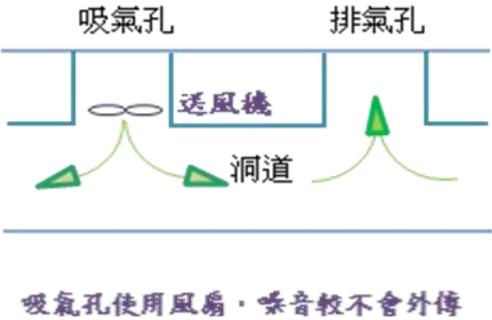
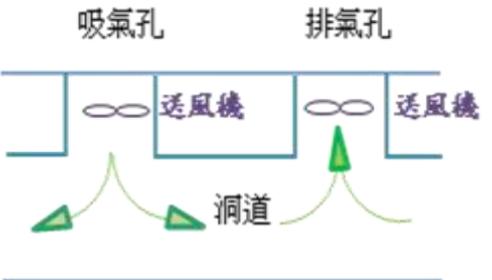
(三)、間接水冷因電纜線與水冷管間尚有空氣間隔，致冷卻效率較差，但因施工及保養可與輸電纜線分開施作，因此可彈性因應系統擴增需要而增設；另外，為防災緣故而在防災線槽(Trough)內配置電纜線，在此情形下可利用線槽的有效空間，在線槽內配置水冷管，讓水於線槽內循環帶走熱量，此亦另一種方式之間接水冷設計(即③.洞道線槽內間接水冷系統)。

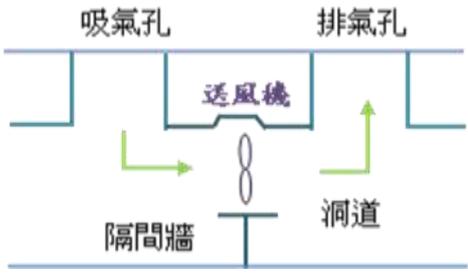
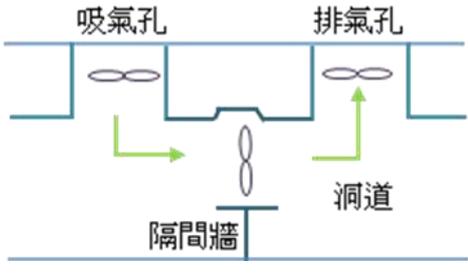
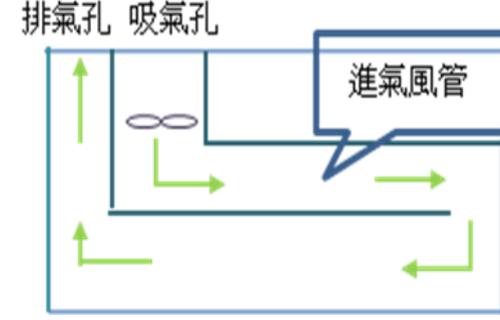
(四)、另外日本電力公司於傳統管路配置中，也有間接冷卻及直接冷卻兩種施設案例；管路間接水冷方式因電纜線與水冷管間有土壤存在，因此冷卻效率

較差，但具有可有效利用管路剩餘空間的優點。國內目前無於傳統管路使用冷卻系統案例。

### A、洞道內風冷系統

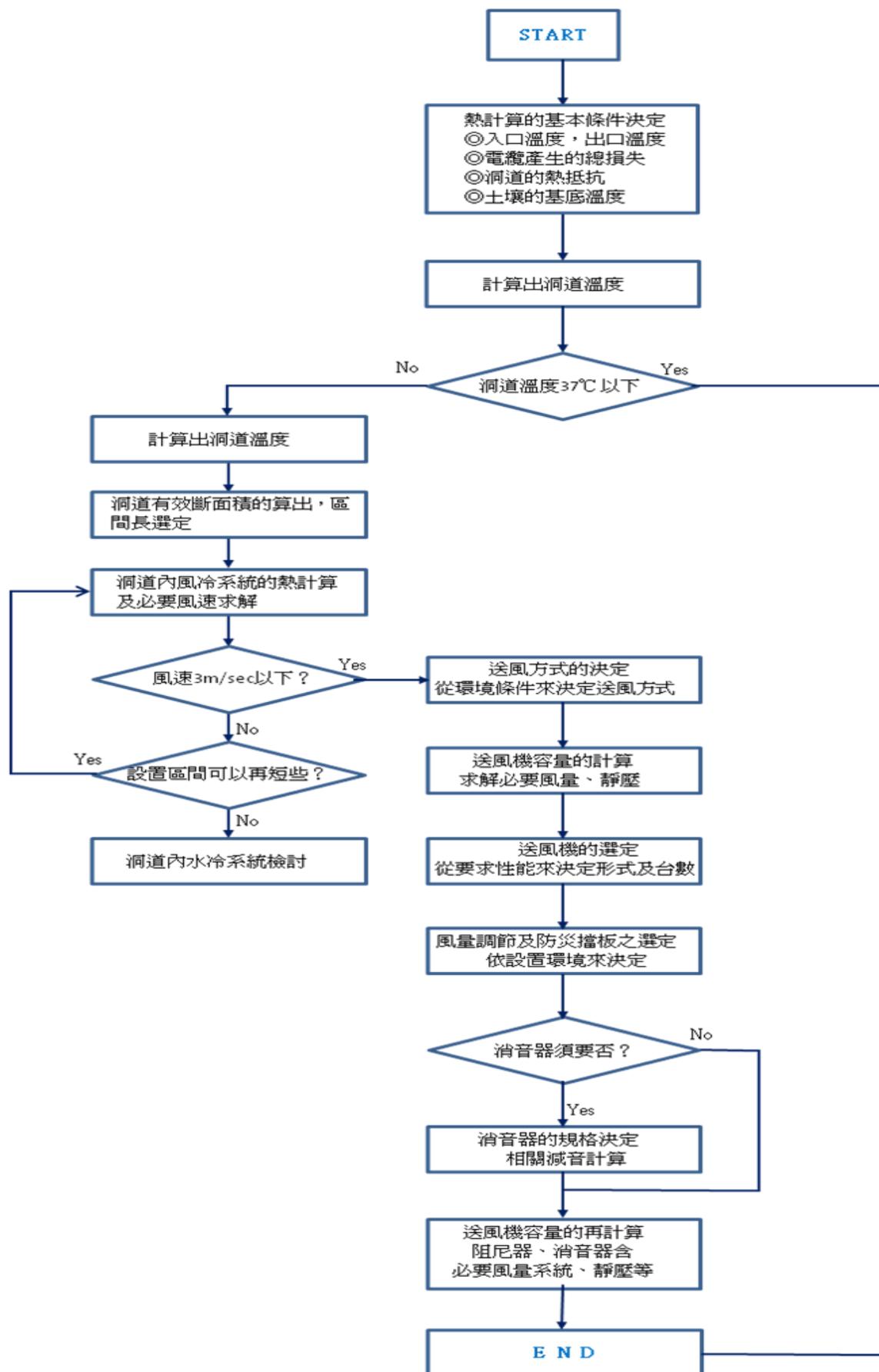
(1)為維持洞道內一定的空氣品質，並協助排除電纜線路運轉時產生之熱量，及符合勞工安全衛生設施及缺氧症預防等規則規定，洞道內風冷系統可概略分為如下數種送風方式:①.單端強制送風.②.兩端強制送風.③.中間強制送風.④.兩端及中間強制送風.⑤.風管式送風等，詳如下圖示:

送風方式	概要圖	特色	適用基準
單端強制送風		<p>①.與其他通風方式比較，屬最經濟。</p> <p>②.風機鄰近區域的壓力損失不同，無法估算冷卻效果。</p>	<p>①.此為簡單的強制送風標準。</p> <p>②.應用於風機鄰近區域的壓力損失接近相等時。</p> <p>③.適用區間距離約 500 公尺。</p>
兩端強制送風		<p>雖然結構成本較高，卻可以有效增大洞道內的壓差。</p>	<p>①.應用於洞道內壓力損失過高，單端強制送風容量不足時。</p> <p>②.應用於單端強制送風式安裝消音器仍無法符合噪音規範時。</p> <p>③.適用區間距離約 1000 公尺。</p>

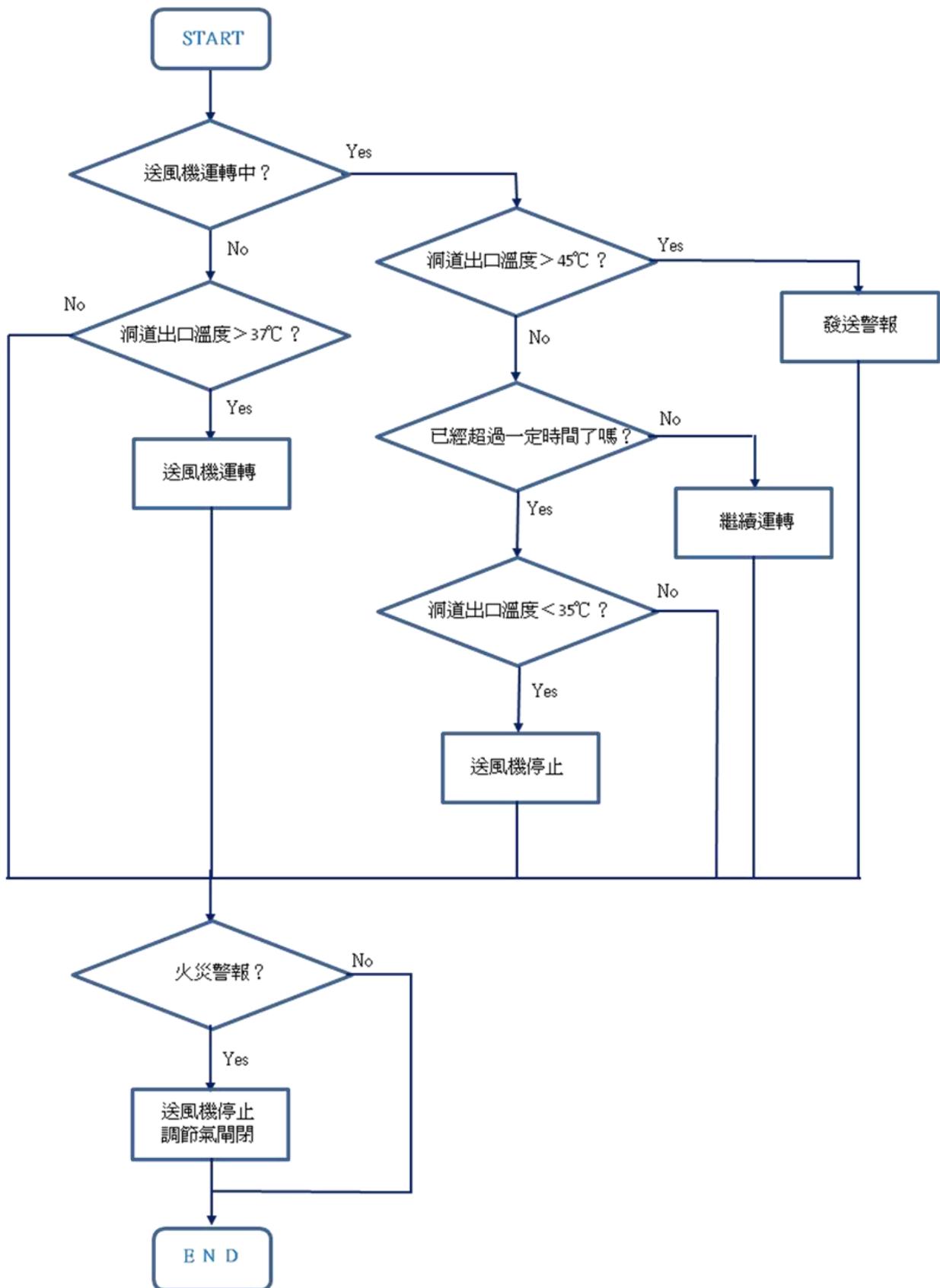
<p>中間 強制 送風</p>		<p>雖然結構成本較高，卻可以有效降低噪音。</p>	<p>適用於在兩端吸排氣孔無足夠空間設置送風機等設備之場合。</p>
<p>兩端 中間 強制 送風</p>		<p>在中間送風機設置後，洞道內壓力損失仍很高之改進方式。</p>	<p>適用於送風區間太長，兩端強制送風仍無足夠之冷卻場合。</p>
<p>風管 式 送 風</p>		<p>①. 當風管過長時，設備費用相當高。 ②. 當需要大風量時，洞道內有效載面積會變小。</p>	<p>適用在僅單端開孔進、排氣有效時。</p>

依本公司設計準則規定，風機最低需求容量以考量30分鐘內完成洞道全面換氣為原則。如洞道內電纜總發熱量經計算可藉由自然通風換氣方式散熱時，則可免設置通風換氣系統(包括增加風機、風速等方式)，若無法克服時，則須另考量設置冰水管間接冷卻系統。以國內輸電線路而言，若地下電纜洞道規劃採345KV&161KV多回線共構時，由於電纜於滿載情況下，發熱量大，如僅採用強制通風冷卻方式降低洞道內溫度，除受限於冷卻距離有限外，又必須設置眾多的通風豎井，且該等通風豎井用地，在現今輸變電設施用地取得、徵收非常困難情形下，恐難以完成，因此一般會考量採用間接水冷方式設置。

(2) 洞道內風冷系統的概略設計檢討事項流程圖



(3)風冷系統的送風機運轉控制流程圖



## B、洞道內水冷卻系統

(1)基本配置:所謂洞道內水冷系統，主要是由冷凍機(冰水主機)、冷卻水塔(統稱為冷水製造設備)，與水冷管、送水泵浦、蓄水槽(統稱為水循環設備)組成。冷水製造設備所製造的冷水經由洞道內水冷管的輸送，將電纜線發生的熱量排除。整理介紹如下表示:

水冷卻系統主要設備	
主要設備	設 備 概 述
1 冷 凍 機 (冰水主機)	冷卻由洞道回流之溫熱水；容量比較高的冰水主機，主要分為螺旋式(允許容量、噪音、裝置空間、耗電量較小)及離心式(允許容量、噪音、裝置空間、耗電量較大)兩種形式。
2 冷 卻 水 塔	<p>①.冷卻水塔可分成開放式與密閉式兩類，其中密閉式因冷卻水不會受到空氣的污染而較合適，且流經冷卻水的管路也不會受到侵蝕。</p> <p>②.理論上冷凍機與冷卻水塔應該以一對一的方式設置，比較能增加系統的可靠性及擴充性。</p> <p>③.冷卻水塔形式的比較</p> <p>④.a.開放型式:循環之冷卻水直接與空氣接觸效率高，適合使用在高水壓及好水質地區。缺點為腐蝕及結垢問題較嚴重，影響水質。</p> <p>④.b.密閉型式:可避免腐蝕及結垢問題。蒸發損失增加熱交換器，體積較大。</p>
3 泵 浦	將蓄水槽中之水送往洞道冷卻水管或冰水機。泵浦通常分為陸上型泵浦與沉水式泵浦，基於耐久性及可靠性的考量，通常使用陸上型泵浦較多。泵浦的容量係由冷卻水的流量與揚程來決定，一般基於維護與保養的考量，大多同時安裝兩台泵浦，一

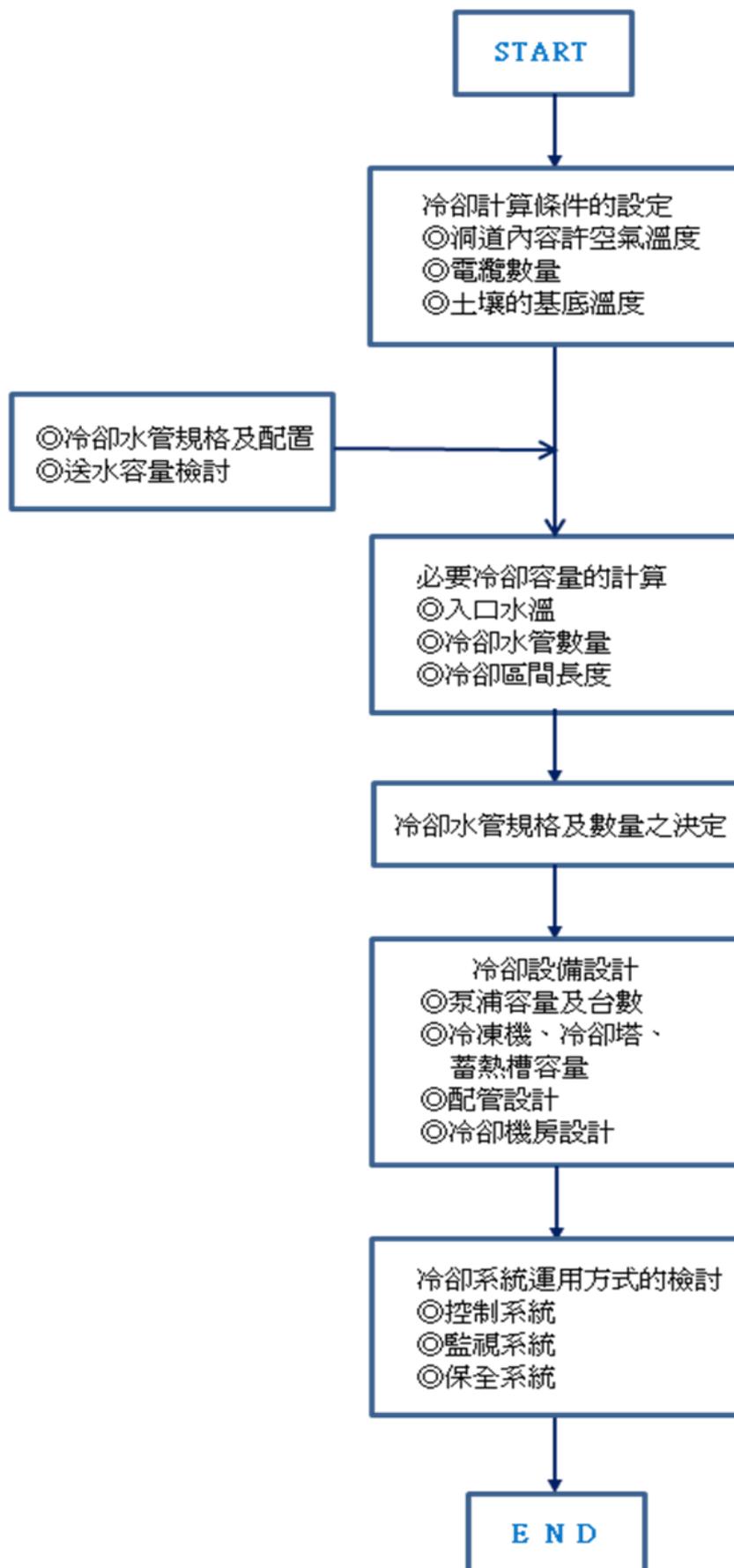
		台正常使用，一台則為輔助及備用泵浦。
4	蓄 水 槽	<p>①.儲存來自冰水機冷卻的冰水及由洞道回流之溫熱水。</p> <p>②.冷卻系統可規劃為在尖載時利用晚間製造存放在蓄水槽之冰水。</p> <p>③.蓄水槽通常安裝在建築物的地下室，分成許多獨立的區間，相隔的區間皆有孔洞互通使循環水流通。</p>
5	冷 卻 水 管	<p>①.冰水機製作的冷卻水經由冷卻水管往返洞道。</p> <p>②.聚乙烯(PE)管材近來被大量使用在空調方面，以確保冷卻水壓水溫(0°C~40°C)的穩定，以及對熱效率的提高等考量。目前本公司幾個案例是以高密度聚乙烯(HDPE)管施設。</p>
6	監 視 系 統	包括監視器及冷卻系統相關控制設備。

①**冷水製造設備**:可分為僅有冷卻水塔的簡易冷卻方式，或與冷凍機併用的正式冷卻方式，冷卻電纜線的冷水係由冷卻水塔或冷凍機製造，儲藏於蓄水槽。冷凍機依據洞道的空氣溫度及蓄水槽的溫度，計算所需冷卻電纜線路的熱量，並控制運轉之。

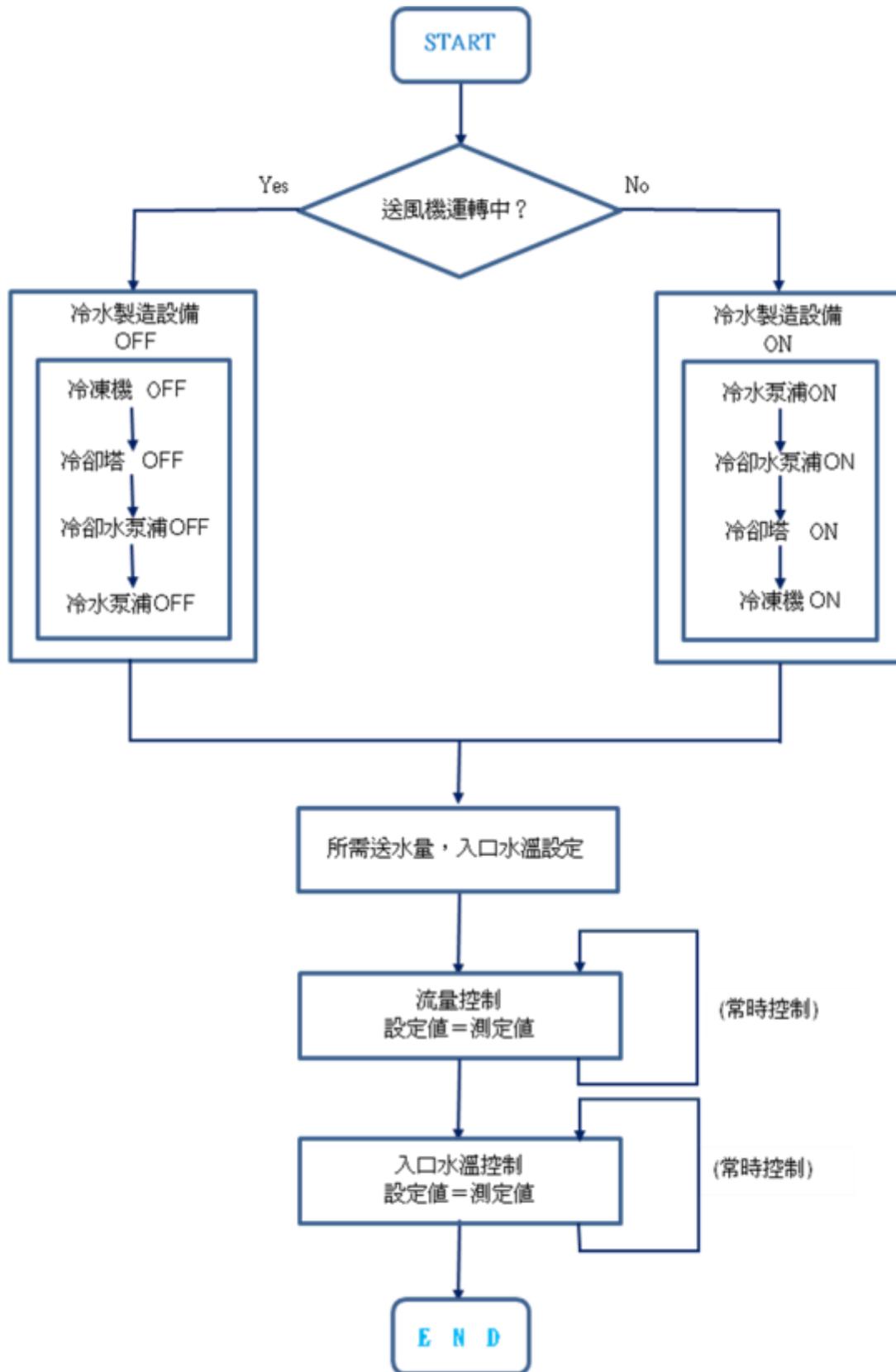
②**水循環設備**:冷水製造設備所製造並儲存於蓄水槽的冷水，經由送水泵浦向水冷管送水，以排除洞道內電纜線產生的熱量。除去電纜線熱量的溫水，經回水管路回到蓄水槽的熱水側，再度由冷卻水塔或冷凍機變換成冷水。送水泵浦同時以洞道溫度不超過其設定溫度的方式進行控制運轉。

③**冷卻系統的目的就是要保證下列需求**: ④.接點的溫度必須低於設計值。⑤.洞道內的溫度必須低於設計值。

(2)洞道內間接水冷系統的概略設計檢討事項流程圖

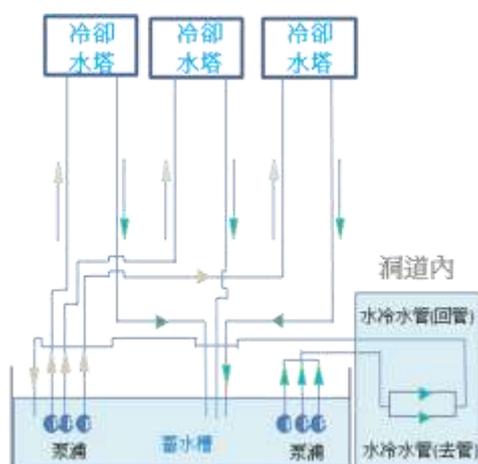


(3)水冷系統的運轉控制流程圖

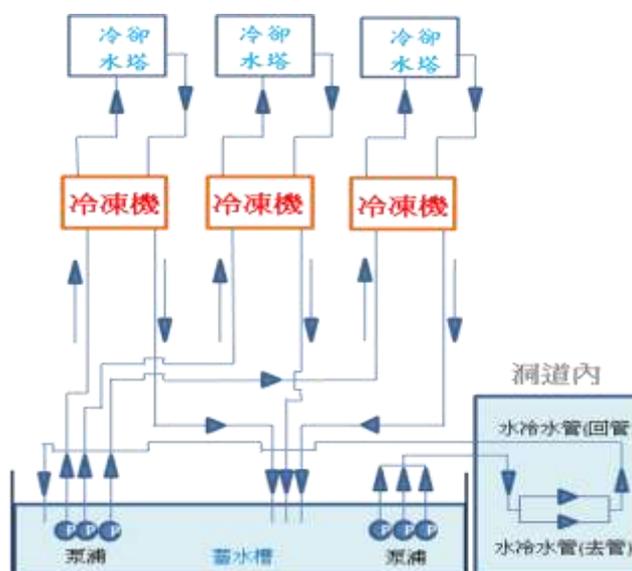


(4)由於地下電纜洞道逐年增加送電線路容量，及至終期時為確保在高負載容量，與較高週遭空氣溫度的考量下，除必須以循環冷卻水來對洞道做強制冷卻外，再利用冷卻機房的主機帶走循環水中的熱量。即水冷卻系統可配合電纜線送電容量的成長而增設冷凍機，於初期電纜線送電容量小時，僅設冷卻水塔冷卻水源，俟電纜線送電量增加需要再增設冷凍機；目前國內亦已以此模式規劃水冷卻系統，下圖即簡單圖示初、終期冷卻系統圖。

初期水冷卻系統



終期水冷卻系統(增設冷凍機)



C.風冷系統及水冷系統比較表

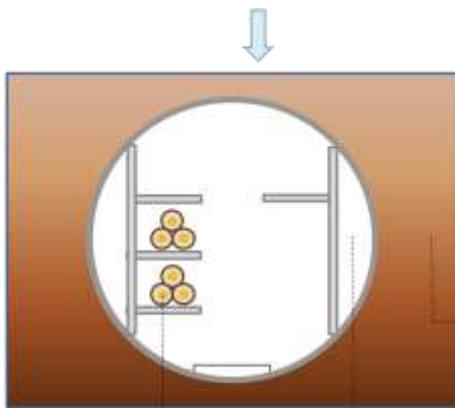
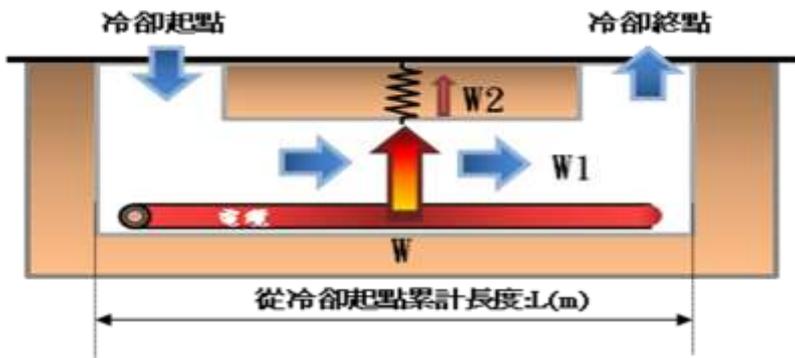
	風 冷 卻 系 統	水 冷 卻 系 統
優 點	①.系統簡單 ②.維護容易 ③.較便宜。	①.冷卻長度比風冷卻區間長。 ②.初期容量小時可不設冷凍機，俟容量增加需要，再增設。

缺點	因受限於排風速度及外在環境溫度影響，冷卻區間無法很長。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.設置費用高。</li> <li>2.需購置較大土地設置冷卻設備。</li> <li>3.施工時間較長。</li> <li>4.維護較麻煩。</li> </ol>
----	-----------------------------	---

#### 四、冷卻系統計算模型簡介

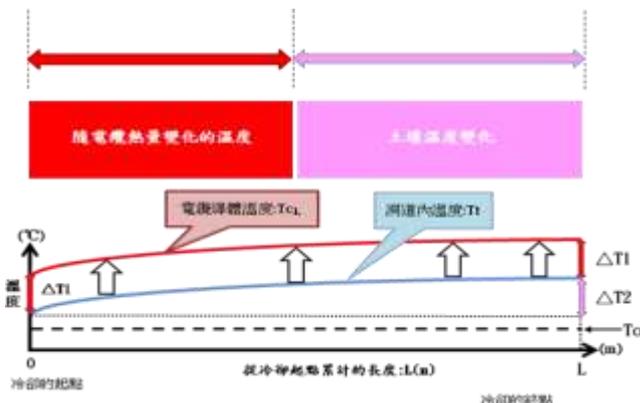
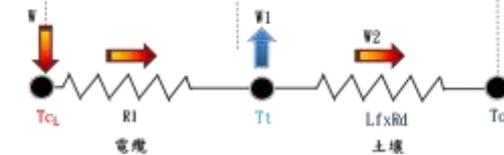
##### A.風冷卻計算模型

(1)冷卻的意思是:利用空氣、水等冷卻煤介物帶走由熱量產生器所產生的熱:W1(有一部份是來自送電中電纜)，W 依據電纜長度 L(m)，以降低洞道內的溫度。



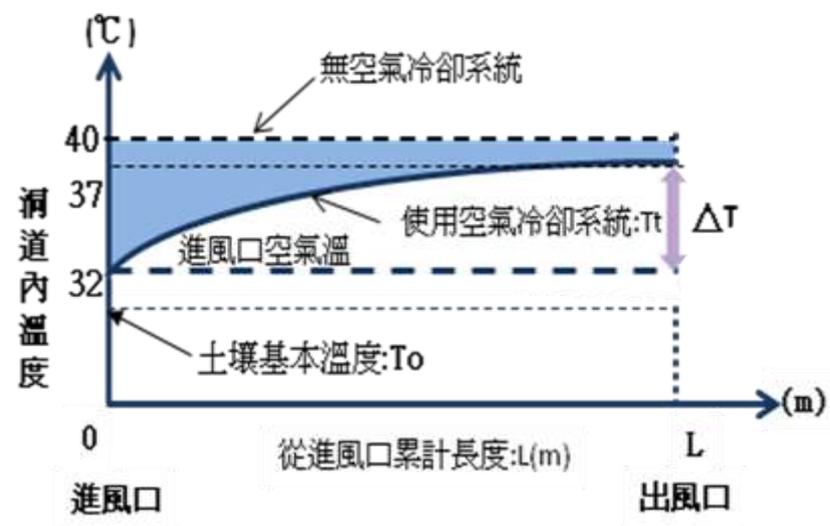
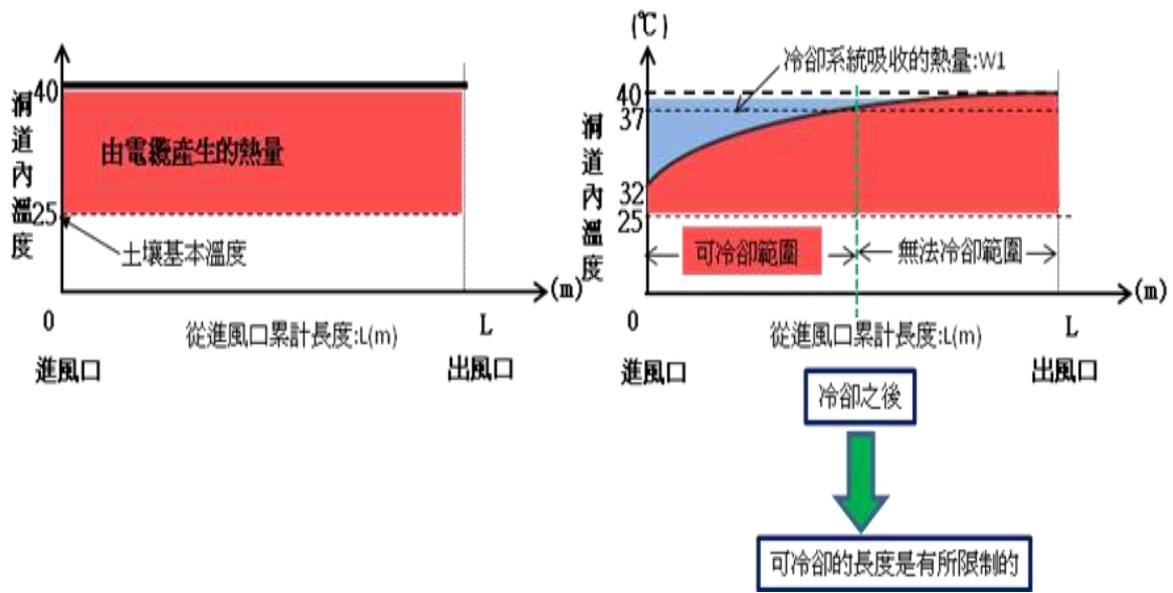
洞道斷面等效熱網路模型為:

$W$ (送電中電纜產生的熱量) $=W1$ (被冷卻煤介物吸收的熱量) $+W2$ (釋放到土壤的熱量)



$\Delta T2$  在土壤係受冷卻數量的影響  
洞道內溫度( $T_t = T_o + \Delta T2$ )主要是受冷卻方式的影響

$\Delta T1$  屬電纜內部溫度，不受冷卻方式影響  
導體表面溫度為洞道內溫度加 $\Delta T1$



依照等效熱網路模型可以列出以下公式

在洞道內從進風口到出風口的溫度變化:  $\Delta T$

$$\Delta T = (w \cdot Rd + To - Ta0) \times \{ 1 - \exp(-L / (Q \cdot At \cdot V \cdot Rd)) \} \dots \dots \dots (1)$$

由公式(1)再導出冷卻設計時所需的參數-V(即風速)如下

**風速**  $V = \frac{L}{Q \cdot At \cdot V \cdot Rd \cdot \ln \{ 1 / [ 1 - \frac{\Delta T}{W \cdot Rd + To - Ta0} ] \}} \dots \dots \dots (2)$

**冷卻時洞道內溫度**  $T_t = Ta0 + \Delta T \dots \dots \dots (3)$

**冷卻時導體溫度**  $T_{cL} = T_t + T_d + W_c X R_{int} \dots \dots \dots (4)$

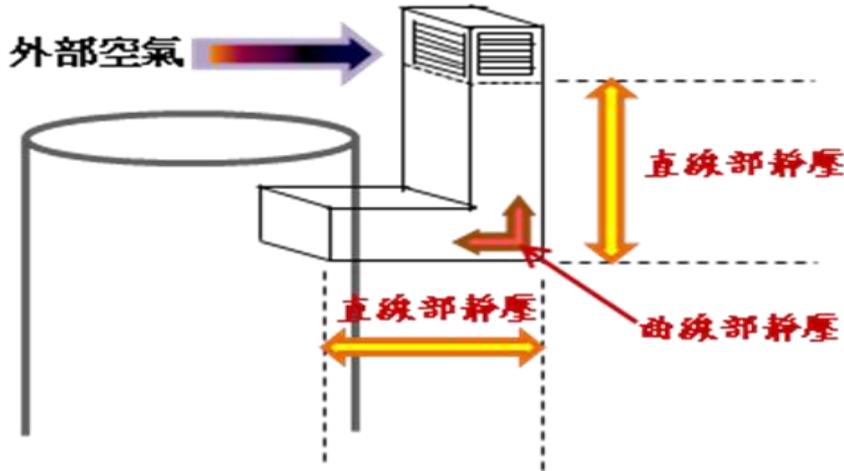
## (2)注意事項:

- ①洞道內溫度需控制在設定溫度(在日本為 37°C)以下。
- ②洞道內風速需控制在設定風速(在台灣及日本均為 3m/s)以下。
- ③導體溫度:  $T_{cl}$  需保持在 90°C 以下。

## (3)何謂靜壓:

當風機輸送空氣進入洞道時，空氣與洞道壁間將出現磨擦壓力，這個磨擦力亦會對管路和通風設備產生壓力。各種壓力的總和稱為〔靜壓〕是一種壓力值。在計算完風速、風量及靜壓後可做為選擇風機的基準。

送風機所需的靜壓:  $H(\text{Pa}) = \sum H_a(\text{直線部靜壓}) + \sum H_b(\text{曲線部靜壓})$



## (4)直線部靜壓基本公式

$$H_a = \lambda a \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \gamma \cdot 10 \quad (\text{Pa})$$

$$D = 1.3 \cdot \left[ \frac{(axb)^5}{(a+b)^2} \right]^{\frac{1}{8}} \quad a:\text{高度(m)}, b:\text{寬度(m)}$$

$$\lambda a = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20,000 \cdot \frac{\epsilon}{D} + \frac{10^6}{R_e} \right) \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$R_e = \frac{VXD}{\eta}$$

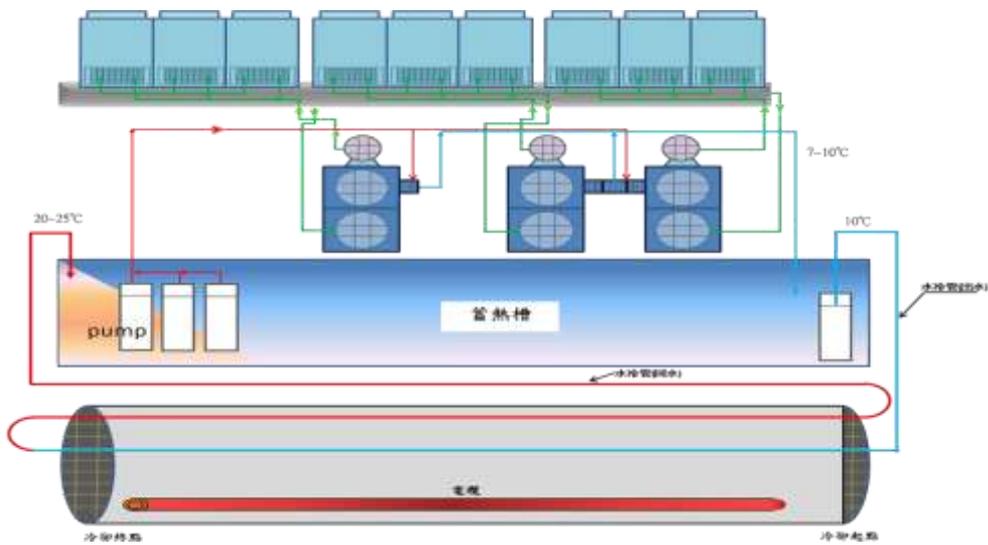
(5) 曲線部靜壓基本公式

$$H_b = \zeta \cdot \frac{V}{2g} \cdot \gamma \cdot 10 \text{ (Pa)}$$

場域損失係數:  $\zeta$  隨洞道、管路型式而不同

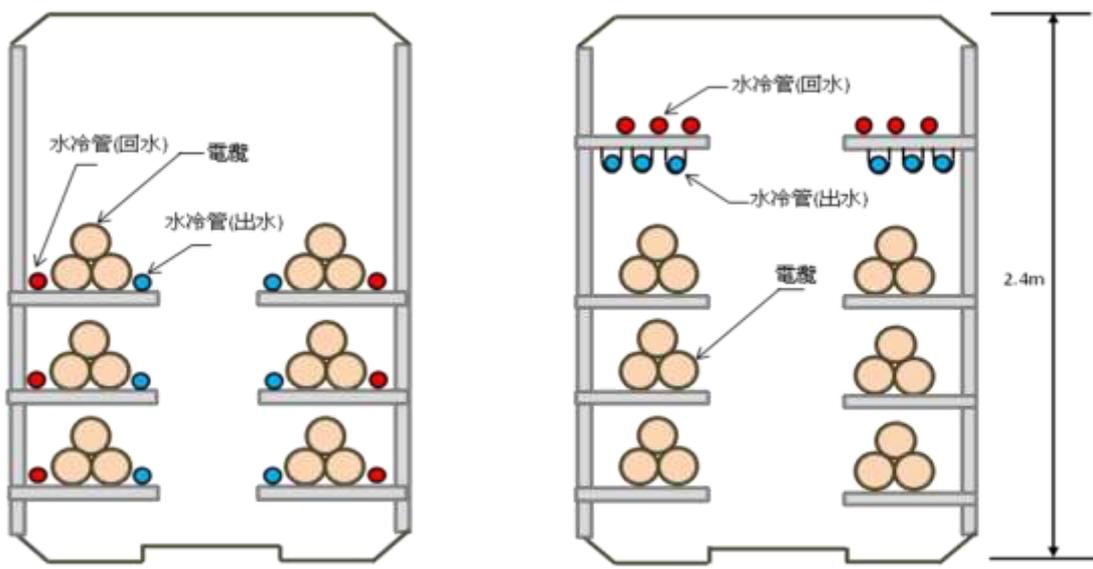
B. 水冷卻計算模型

(1) 洞道內間接水冷卻簡介: 主要是由冷凍機、冷卻水塔、水冷管、送水泵浦、蓄熱槽(蓄水槽)組成, 如下圖示



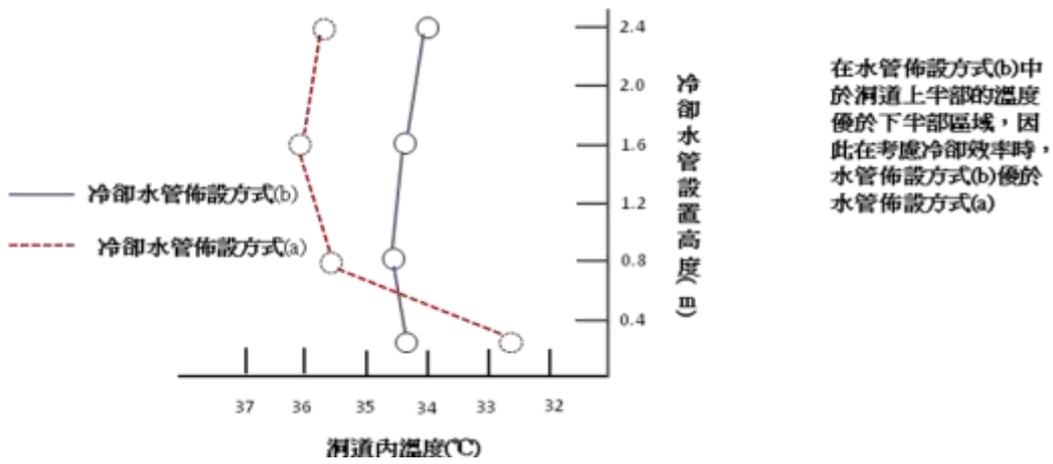
(2) 冷卻水管佈設之最適當位置

係參照ETRA Vol.53(1998)為測試基準



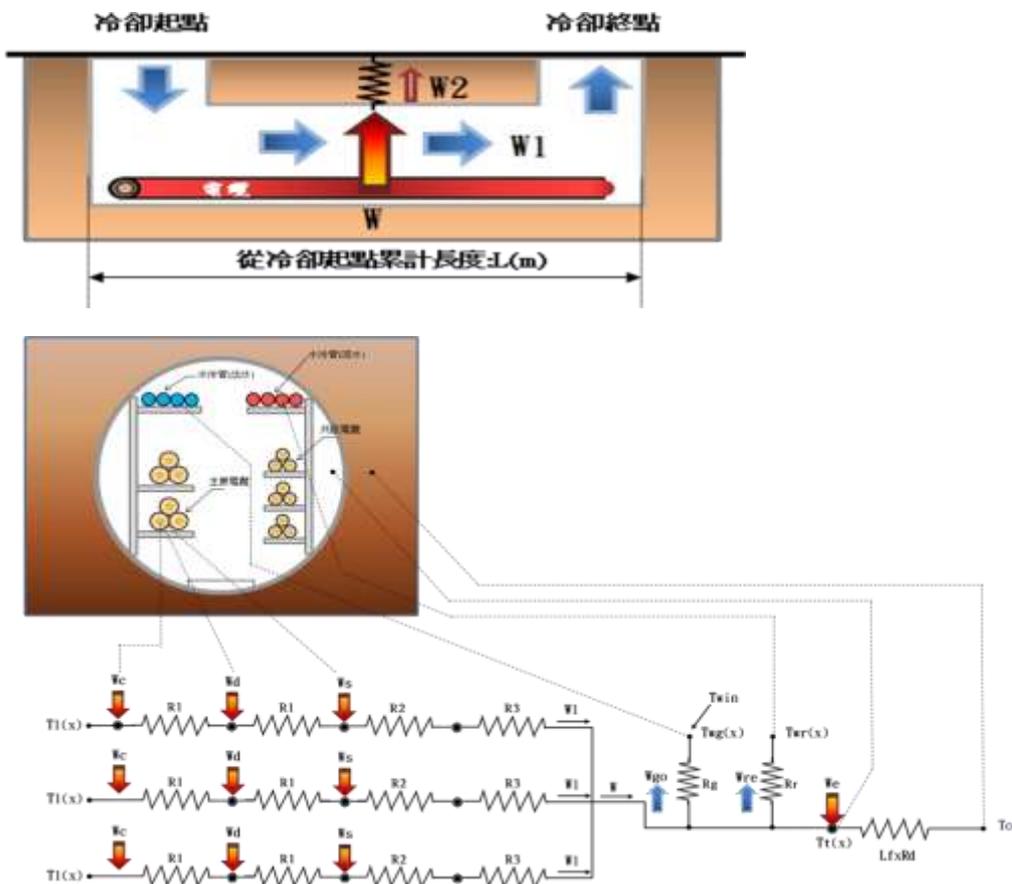
圖(a) 冷卻水管佈設在電纜旁邊

圖(b) 冷卻水管佈設在洞道頂板附近



- ①.洞道內溫度:在洞道內溫度需低於 37°C(在台灣及日本)。→在日本需符合勞工安全衛生法規。
- ②.電纜導體溫度:在考量絕緣能力下，電纜最高運轉溫度設定為 90°C(在台灣及日本)。
- ③.冷卻水溫度(出水):冷卻水出水溫度是 10°C(在日本)原因，是因為冰水主機能製造的冰水溫度約為 5°C~8°C，再考量冰水係儲存於儲熱槽內可能的溫升，而訂定為 10°C。
- ④.冷卻水管的尺寸及數量:需考慮洞道內可供擺設冷卻水管的空間。
- ⑤.每一水管的流速:必須設計在每一水管最高可承受壓力之下。

**(3)水冷卻計算模型**



定義		
熱 阻 抗	熱 源	溫 度
<b>1. 電纜</b> R1:絕緣體熱阻抗 R2:防蝕層被覆阻抗 R3:電纜表面散熱阻抗 <b>2. 水冷管</b> Rp(Go, Re):水冷管熱阻 抗(Go, Re) <b>3. 洞道</b> Rd:土壤熱阻抗 Lf:損失率	<b>1.主要電纜</b> Wc :導體損失 Wd :介質損失 Ws : 電纜被覆損失 W1 : Wc+Wd+Ws W : W=3xW1 <b>2.除主電纜外之其餘電纜</b> We:全部熱損失 <b>3.水冷管</b> Wgo: 水冷管吸收的熱量(Go) Wre: 水冷管吸收的熱量(Re)	T1(X) :在 X 點的導體溫度 Twin :在起點的水溫度(Go) Twg(X):在 X 點的水溫度 (Go) Twr(X):在 X 點的水溫度 (Re) Tt(X):在洞道 X 點的溫度 To:土壤基底溫度

**(4)洞道內間接水冷的基本計算公式:**

從熱等效線路圖我們可以列出以下距離冷卻起點 X 處的溫度計算公式

$$Wall=(Tt(x)-T_{wg}(x))/R_g+(Tt(x)-T_{wr}(x))/R_r+(Tt(x)-T_o)/R_d \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$(Tt(x)-T_{wg}(x))/R_g=C_x Q_{gx}(dT_{wg}(x)/dx) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$(Tt(x)-T_{wr}(x))/R_r=C_x Q_{rx}(dT_{wr}(x)/dx) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$T_{c1}(x)=Tt(x)+T_d+W_c x R_{int} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$X=0 \rightarrow T_{wg}(0)=10^\circ C \quad \dots\dots\dots(\text{情況 a})$$

$$\text{冷卻終點}(X=0) \rightarrow T_{wg}(0)=10^\circ C \quad \dots\dots\dots(\text{情況 b})$$

當我們把情況 a、b 帶入上列公式((1)，(2)，(3)，(4))後，我們可以計算出在洞道內的溫度(Tt(x))與導體溫度(Tc(x))。

**(5)須注意事項**

- ①.洞道內溫度需低於 37°C。

②.冷卻水出水溫度需低於 10℃。

③.電纜最高運轉溫度不能超過 90℃。

(6)冷卻系統容量  $Q_{cool}=(T_{wr}(0)-T_{wg}(0)) \times r \times C \times Q_a \dots\dots(5)$

(7)附註 1:

$Q_{cool}$  : 冷卻系統容量  $r$  : 水的比重 999.7(kg/m<sup>3</sup>)  
 $T_{wg}(0)$  : 冷卻起點(出水)水溫度(℃)  $C$  : 水的比熱容量=4.18(W.S/℃.L)  
 $T_{wr}(0)$  : 冷卻終點(出水)水溫度(℃)  $Q_a$  : 水流速度(L/s)

(8)附註 2:

冰水機容量常用的單位換算

①.英製冷凍噸(USRT)=12000Btu/hr=3024Kcal/hr=3.516KW

②.公製冷凍噸:(RT)=3320Kcal/hr=1.1X 英製冷凍噸)

## 五、參訪公司及參訪工程簡介

### A、日本中部電力株式會社

従業員数	16,940名	台電:22,602名(2010年)
営業区域	愛知・岐阜(一部を除く)・三重(一部を除く)・長野・静岡(富士川以西)の中部5県	
販売電力量	電灯 37,256百万kWh 電力 6,695百万kWh 特定規模需要 86,960百万kWh  合計 130,911百万kWh	台電:103,989 GWh
発電設備	火力 11ヶ所 23,969千kW(内然火力含む) 水力 183ヶ所 5,219千kW 原子力 1ヶ所 3,617千kW 風力 1ヶ所 22千kW 太陽光 1ヶ所 1千kW  合計 197ヶ所 32,828千kW (注)端数処理の関係で合計が合わない場合があります。	台電:40,912 MW
送電設備	送電線路互長 12,220km	台電:16,561 Km
変電設備	変電所数 939ヶ所 出力 122,443千kVA	台電:580所 142,624 MVA
配電設備	配電線路互長 131,089km (注)配電線路互長の数字は併架部分を除いたものです。	台電:335,628 Km





圖四：冷卻水塔



圖五：冷卻水管

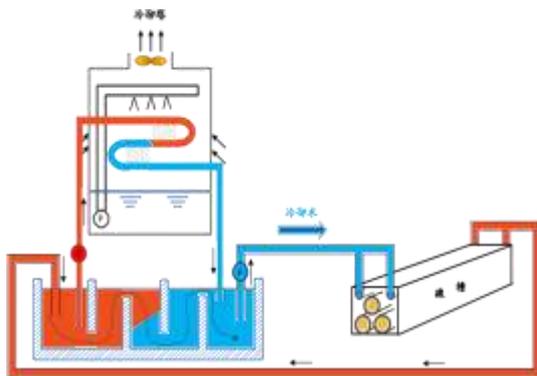


圖六：洞道內冷卻水管

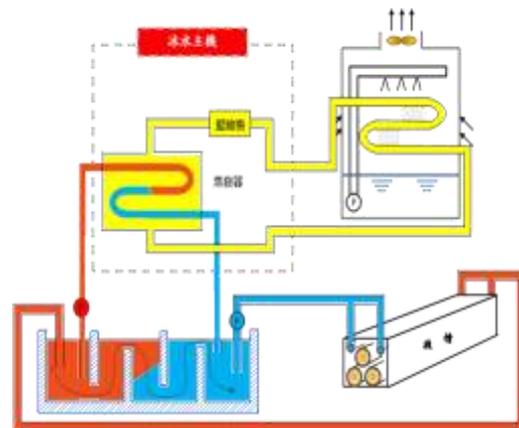


圖七：洞道內線槽

梅森~金山 275kv 線水冷卻系統亦分初、終期設計



圖八：初期冷卻系統



圖九：終期冷卻系統

C.參觀施工中關西電力株式會社所屬百濟~美章園電纜管路新設工程



圖一:推進施工現場(一)



圖二:推進施工現場(二)



圖三:推進施工現場(三)



圖四:推進施工現場(四)

D.參觀關西電力株式會社所屬「多奈川」共火線和共火 P/S 引出線工程 (新#28 連接站 鐵塔新建)



圖一:新#28 連接站鐵塔



圖二:鐵塔爬梯及垂直鋼索



圖三:電纜引出及保護網架(一)



圖四:電纜保護網架(二)

## 六、實習感想與建議

首先要感謝公司及各級主管給予本人出國實習的機會，其次是感謝受訪單位及人員如日本中部電力株式會社木下靖英課長與熊澤昌宏副長及日本機動建設工業株式會社中野 正明董事長等對實習相關技術或現場參訪提問問題的解答及不遺餘力的協助指導，並提供相關參考資料，此等均對本次赴日研習計畫得以圓滿達成提供了很大的助益。

- ①**實習感想:**
  - a.日本在地下電纜洞道冷卻技術方面的施設經驗確實比國內早得多，例如本次參訪的日本中部電力株式會社所屬梅森~金山 275kv 線水冷卻系統，在 1988 年已正式運轉，至今已超過 20 年，若能借由出國研習機會與國外相關電力業者互動交流新技術、心得，進而將所蒐集之訊息、資料及先進技術應用於國內相關設計，相信對國內電力建設會有很大的助益。
  - b.另外日本人處事嚴謹、凡事按部就班與待人謙恭有禮的態度，隨時可在受訪者身上看到，尤其在施工現場，隨時可查覺四周環境整潔乾淨，工具、器材放置亂中有序，同樣令人印象深刻，這些都是值得我們借鏡學習的地方。
- ②**建議事項:**
  - a.日本電力業者在地下電纜強制冷卻方面共有約八種型式，惟國內受限於電纜製造技術水準及既有道路情況，其中管路之直接或間接水冷卻系統及電纜內部冷卻與 POF 電纜油循環冷卻系統並不適宜，因此國內地下電纜線路倘需強制冷卻，建議仍以洞道內間接水冷卻系統設計為宜。

- b.地下電纜線路隨著用電成長增加送電容量，或洞道內需增設電纜線路回線數，都將使洞道內熱量增加而需修改或配合增設冷卻相關設備，因此洞道冷卻系統開始設計時，即應考量最終需佈設電纜數量，並預留相關冷卻機房或冷卻水塔等所需用地、空間，俟用電成長需要再逐步增設相關設備(如中部電力株式會社梅森~金山 275kv 線水冷卻系統初、終期規劃方式)，以節省設備設置費用及達設備充分利用目的。
- c.本次赴日本實習參觀關西電力株式會社所屬「多奈川」共火線和共火 P/S 引出線改接工程時，發現該工程中新#28 連接站鐵塔施設方式係將電纜台架位置移至鐵塔橫擔處設置，該施設方式的優點為可縮小連接站鐵塔用地面積及改善連接站引下線壓迫感問題，因此本公司倘遇類似案例亦可研擬以此方式因應。

- ③其他:
- a.出國實習計畫宜儘早規劃，以免造成受訪單位的困擾；實習計畫出國時間雖短暫，惟仍需於確定奉派出國時，即盡快與外國受訪部門連繫拜訪日期及行程，並儘量避開年底或其休假時間(如聖誕節)。因此建議主管部門能適時提醒預定出國人員作好相關準備。
  - b.公司外派出國實習與自己跟團旅行大不同，出國實習時間雖然短暫，但是獲益匪淺，不管是專業上的新知學習，或是國外輸變電設施的參訪，甚至與外國人士的聯繫、討論，都能打開我們的國際視野，因此值得公司主管於適當場合鼓勵年輕同仁多多學習外語及爭取參予國外研習計畫。

#### 參考資料

- 1、日本中部電力株式會社:『Tunnel cooling system for Underground Transmission Lines』簡報。
- 2、日本中部電力株式會社『275kV梅森金山線，金山南武平町線の概要』。
- 3、日本電氣協同研究第53卷第3號。
- 4、本公司345KV電纜線路工程規劃設計技術服務教育訓練資料。
- 5、本公司地下輸電電纜線路附屬機電工程設置準則。