

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習) 九十一年度出國計畫

深層地下潛盾洞道電纜回線冷卻設計與施工

服務機關：台灣電力公司輸變電工程處
出國人職稱：九等電機工程師
姓名：藍宏智
出國地區：日本
出國日期：91年10月22日至91年11月04日
報告日期：91年11月25日

G3/
C09105162

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

深層地下潛盾洞道電纜回線冷卻設計與施工

頁數 81 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

藍宏智/台灣電力公司/輸變電工程處/電機工程師/(02)23229808

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：91年10月22日至91年11月04日

出國地區：日本

報告日期：91年11月25日

分類號/目

關鍵詞：潛盾、地下電纜、冷卻系統、通風系統、光纖、溫度偵測

內容摘要：(二百至三百字)

配合執行本公司第六輸變電計畫，將於台北市及高雄市興建數條 345KV 地下輸電線路，每一線路均須與架空線之送電容量(3660A)匹配，故每一回線需使用多條電纜設計，但由於多回線共設散熱不易，無法以傳統管路方式埋設，必須採用洞道方式佈設，又因國內都會區道路狹窄且地下物繁多，故須以深層地下潛盾工法施工。目前日本常於多回線電纜共設之洞道內裝設強制冷卻設備以克服散熱問題，且輔以光纖偵測溫度之監控系統，使電纜線路能有效地提高送電容量，且能安全地加以監控運轉，此一方面日本已有很多實例與經驗，值得本公司前往研習與借鏡。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.gsn.gov.tw>)

目 錄

壹、緒論	1
貳、潛盾洞道	4
一、簡介	4
二、潛盾機	5
三、特殊型潛盾機	6
參、冷卻系統	9
一、管路間接水冷系統	9
二、管路直接水冷系統	10
三、洞道強制風冷冷卻系統	11
四、洞道間接水冷卻系統	12
肆、洞道內冷水管間接冷卻系統設備及通風設備簡介	16
一、冷卻機房	17
二、冷卻循環水系統	20
三、通風系統	25
四、點檢時間表	27
伍、光纖溫度監控設備簡介	29
一、前言	29
二、光纖偵溫原理	29
三、光纖溫度感測器	33
四、分散型光纖溫度監測系統	34

陸、線路介紹	42
一、穿越河川及地下鐵潛盾共同管道	42
二、南港火力電纜線路	45
三、ANAN~KIHOKU 500KV DC 海底電纜線路	54
四、梅森~金山~南武電纜線路	59
五、新名火東海線	64
六、名城地下變電所	69
柒、心得與建議	75
一、心得	75
二、建議事項	77

壹、緒論

近年來台灣各都市發展甚速、人口密集，都市群聚現象顯著，到處高樓大廈林立，其用電量大增，似有供不應求之趨勢。為配合用戶用電之需求，本公司須於都市負載中心設置變電所因應，目前興建變電所皆以屋內型式來規劃設計，由於在都會區既使能得到土地亦很難興建架空輸電線路，因為架空線路會使沿線兩旁之土地價值減低，此外對環境景觀之衝擊等問題也是讓地方百姓無法接受原因之一。然而輸電系統是電力系統的動脈，其健全與否，直接影響到台灣地區九百萬用戶用電之品質及電力之穩定，尤其如今工商業及民生用電要求日趨嚴格及民眾對於生活環境的要求及環保觀念的提升之條件下，輸電線路也必須順應潮流趨勢，配合以地下化方式規劃設計，由於受限於現有環境及道路狹窄，地下輸電線無法分散設置，有時必須集中同一條道路以涵洞或潛盾方式多回線共設。配合執行本公司第六輸變電計劃，將於台北市及高雄市興建數條 345KV 地下輸電線路，每一線路均須與架空線之送電容量(3660A)匹配，故每一回線需使用多條電纜設計，但由於多回線共設散熱不易，無法以傳統管路方式埋設，必須採用洞道方式佈設，又因國內都會區道路狹窄且地下物繁多，故須以深層地下潛盾工法施工。目前日本常於多回線電纜共設之洞道內裝設強制冷卻設備以克服散熱問題，且輔以光纖偵測溫度之監控系統，使電

纜線路能有效地提高送電容量，且能安全地加以監控運轉，此一方面日本已有很多實例與經驗，值得本公司前往研習與借鏡。

此次計劃研習內容重點包含下列四點：

1. 研習地下輸電線路強制冷卻系統之規劃與設計技術。
2. 研習地下輸電線路溫度監控系統之規劃與設計技術。
3. 研習光纖偵測溫度相關介面之設計及技術。
4. 研習地下輸電線路強制冷卻與溫度監控系統之維護與運轉。

輸電線地下電纜自開發以來，其間經過多次品質改良，對輸送電力之可靠性、輸電容量及提高電纜之輸電電壓均有相當大之改進。但是如何選擇適當的電纜規格及規劃最佳的埋設方式，有效發揮電纜的功能，避免造成過度的投資浪費，是線路規劃者必須重視的課題。電纜周圍環境的熱散逸好壞影響其容量之大小，影響送電容量之因素有

1. 電纜佈設方式(管路、涵洞、地下室、電纜溝)；
2. 管路材質、埋設排列方式、間隔、埋深、回填土材料；
3. 基底溫度：背景環境溫度；
4. 導體容許溫度：正常運轉狀況下，導體容許之最高溫度(如表 1)。

表 1

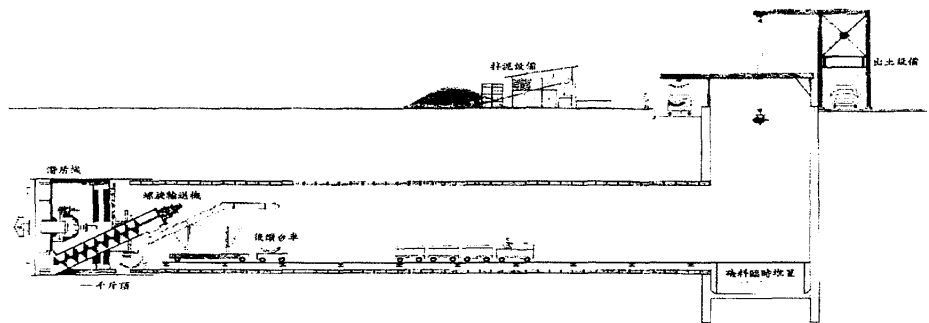
	充油電纜	交連 PE 電纜
常時	85°C	90°C
短時間	90°C	105°C
短路(瞬間)	150°C	230°C

上述因素各有不同程度之影響，輸電電力電纜依目前台電使用之電纜種類分為充油電纜及交連 PE 電纜，在正常操作下，電纜最大送電電流容量則是使其不超過此容許上限。

貳、潛盾洞道

一、簡介

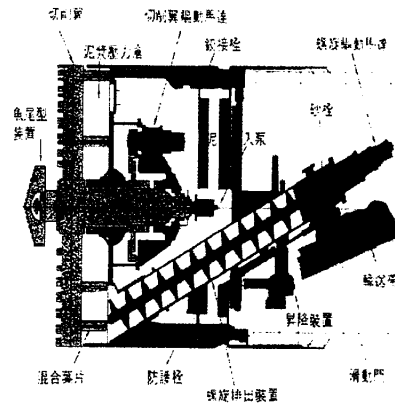
潛盾洞道施工法理念源自於一個大自然現象，為一種在軟弱地質中施作隧道的工法，其靈感係源自於十九世紀法國工程師觀察鑿船蟲 (ship worm) 利用牙齒鑿入木殼船之木頭內，而將木屑沿著「隧道」搬出，同時以其軀體支撐「隧道周壁」，且進一步於「開挖」前分泌一種硬化劑之特有活動現象，據此而奠定了今日潛盾施工之原理。



潛盾隧道施工示意圖

此工法係以潛盾機自一端工作井處，深入地表下挖掘隧道，隨潛盾機開挖前進的同時，於其後方逐一組立預鑄環片，直至另一端工作井。應用於地下深洞道之開挖，施工時除工作井設於地面外，其餘均在地下施築，因未破壞原路面，故對周遭環境及交通影響較小。

二、潛盾機



潛盾機剖面示意圖

潛盾機為一剛性結構之鋼筒，主要由鋼製的殼板及推進的千斤頂所構成，一般而言分為盾首、盾殼與盾尾，其中盾首作為擋土開挖面穩定和作業空間的安全，盾殼是安置推進用之千斤頂及油壓、電氣等設備，以實施推進及操作，而盾尾則裝置支保架設機及盾尾墊圈，以實施弓型支保組立的部份。從事施作時，前端供開挖作業，尾端供組立安裝襯砌，殼板在安裝永久襯砌前是用來支撐隧道鑽掘面四周可能崩坍的地盤。整個鋼體並利用已組立完成的弓形支保作為推進千斤頂之反力座，以使潛盾機向前推進。利用開挖推進、安裝組立，如此周而復始地循環施作的方式，寸寸鑽掘環環相扣，完成隧道的施作。

三、特殊型潛盾機

1. 垂直—水平 雙功能鑽掘潛盾機

本垂直—水平雙功能連續潛盾隧道鑽挖工法乃是利用同一潛盾機先後進行豎井及洞道工程施工以抵抗土壓及地下水壓之工法(如圖 2.1)。其特殊處在於運用潛盾機切削頭上之球體裝置使在完成豎井施工後即能將切削頭旋轉 90 度以改變潛盾方向，繼續做水平方向之隧道開挖。因而，即使在狹窄受限的地下環境中仍能不受影響，有效施工(如圖 2.2)。

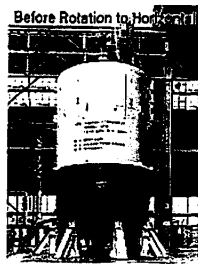


圖 2.1 雙功能鑽掘潛盾機

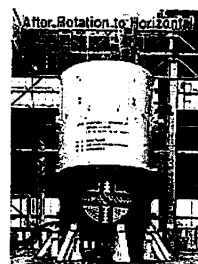
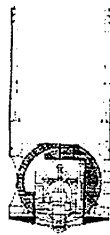
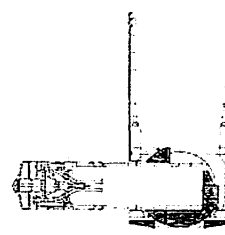


圖 2.2 雙功能鑽掘潛盾機



本工法特點：

- (1) 縮短豎井施工時間。
- (2) 縮小豎井面積，有利於建築密集區之施工。
- (3) 不需做壓縮空氣與土壤改良等輔助工作，故能提高施工安全性。

(4)即使在地下水壓極高之深度開挖下仍能確實施工。

(5)在深度開挖時能減低工程成本，故更具經濟效益。

2.分岐式潛盾機

分岐式潛盾機係在潛盾主機中設置較小之潛盾副機用以開挖隧道支線。副機置於主機附近，運作時穿過主機壁體後向前掘進（如圖 2.3）。為使主機機身便於被切削，該部份之機身係採用新開發之混凝土材料——碳纖強化塑材（CFRP），本材質由碳纖與樹脂硬化劑所組成，以取代傳統混凝土中之鋼筋材。

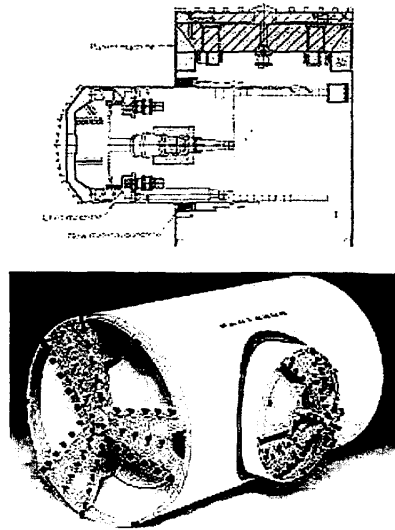


圖 2.3 分岐式潛盾機

本分歧式潛盾機特性如下：

- (1)可取代大角度曲線之傳統潛盾施工
- (2)可併於一台機體作垂直豎井與水平隧道之開挖
- (3)開挖水平分支隧道時不須另設工作井
- (4)可彈性選擇主機與副機之斷面直徑
- (5)結合傳統工法，結構簡單，施工可靠。
- (6)主機與副機可共用設備，具經濟性。

參、冷卻系統

為應付大都會區電力需求的增加，大容量的地下輸電線路已勢在必行，為達到高輸電容量降低輸電損失，以強制冷卻方式將輸電電纜所產生的熱量移走，已成為不可或缺之技術。依日本國內目前既有輸電電纜線路之佈設狀況及考量維護人員維修之便利性，其較常用之冷卻方式大致可分下列四種型式。

一、管路間接水冷卻系統

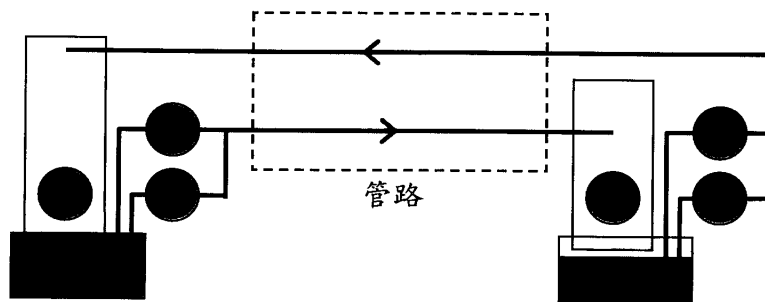


圖 3.1 管路間接冷卻水迴路系統示意圖

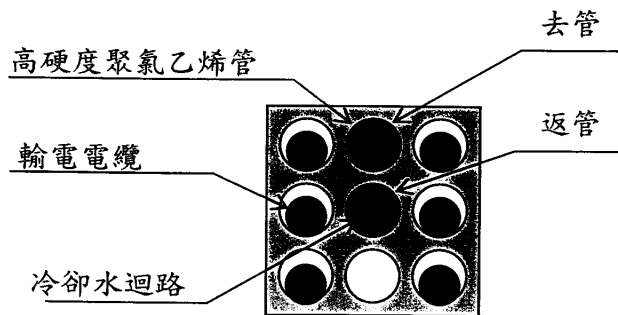


圖 3.2 管路剖面圖

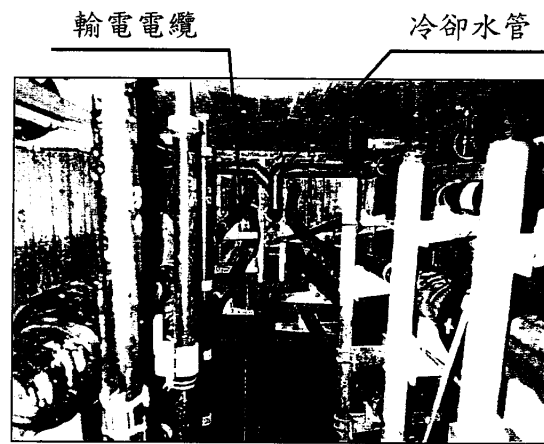


圖 3.3 人孔內部示意圖

其送電容量約為不加冷卻系統相同配置之線路的 1.2~2.0 倍

二、管路直接水冷卻系統

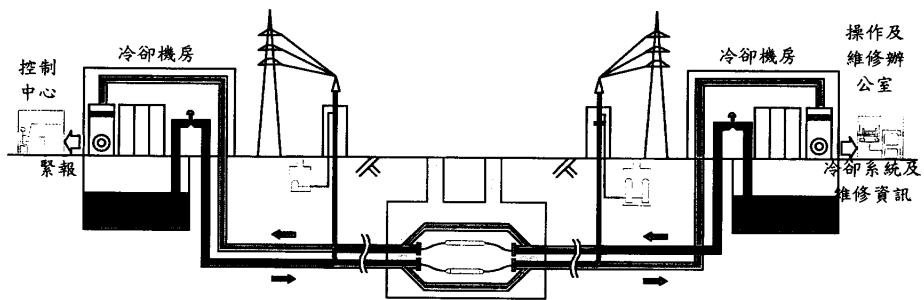


圖 3.4 管路直接冷卻水迴路系統示意圖

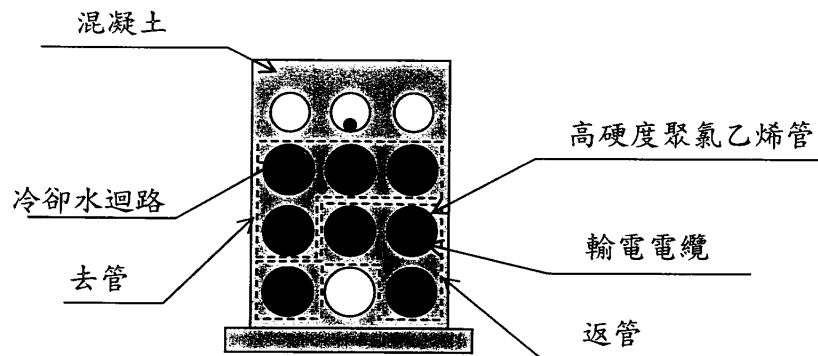


圖 3.5 管路剖面圖

其送電容量約為不加冷卻系統相同配置之線路的 2.0~2.5 倍

三、洞道強制風冷冷卻系統

強制風冷冷卻系統是所有冷卻系統中最簡單及最具經濟效益的方式。它的冷卻原理是將外氣中的冷空氣引入洞道裡，藉此降低洞道內溫度，惟此冷卻系統效益全依賴外氣溫度，且於夏季及冬季系統冷卻系統效益之不同是設計規劃時最大的考量。由於空氣的散熱特性非常地小(大約 $1.1 \times 10^{-3} \text{ J/K/cm}^3$)，而且在洞道通風的情況下，為能有效維持人員維修的工作能力，洞道內的風速一般都限制在 3 公尺/秒，因此所能運用的冷卻區間長度不長，日本目前使用洞道強制風冷系統通風區間長度實績為 50~1333 公尺。

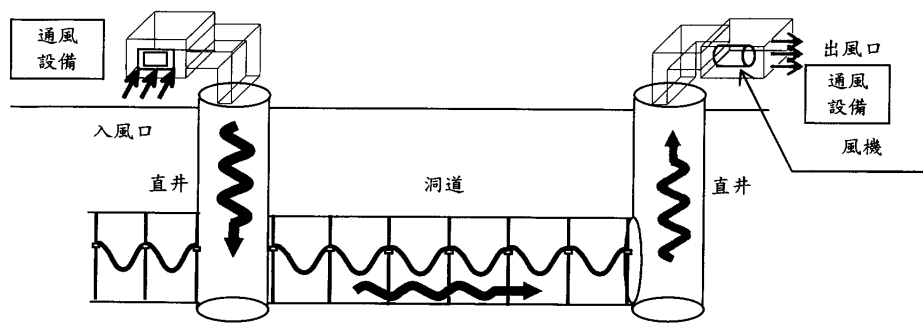


圖 3.6 洞道強制風冷冷卻系統概要圖

其送電容量約為不加強制風冷冷卻系統相同配置之線路的 1.2~1.3 倍

四、洞道間接水冷卻系統

依據交通部發佈之“公路用地使用規則”第十四條第一款規定，沿公路縱向埋設於地下之管線及附屬設備應視公路用地寬度之不同，分別依照使用公路用地施設位置標準圖辦理，其電力高壓幹線亦置於道路中央，因都會區道路狹窄且地下物繁多，為避免影響道路兩旁住家及商店之出入及無土地可供施設通風孔情形下，須以深層地下潛盾工法施工，由於地下潛盾洞道為密閉式及長距離之空間，電纜所散發之熱量，已不是利用強制風冷冷卻方式就可解決，因此在長距離的洞道冷卻方式，一種方式是將其切成多個區段來做強制風冷冷卻，惟所需要的通風孔及風機室也相對地增加，但在目前大都會中面臨交通量龐大的道路及有時需穿越山谷，似乎無法有足夠的土地可供施設風機室及通風孔，因此在無法取得風機室及通風孔的長距離洞道冷卻

方式，勢必要採用洞道內間接水冷卻方式，日本目前使用防災槽內間接水冷式系統區間長度實績為 1450~5500 公尺，而洞道內間接水冷卻系統區間長度實績為 1100~3400 公尺。

(1) 方案一 防災槽內間接水冷卻方式(適用於充油電纜)

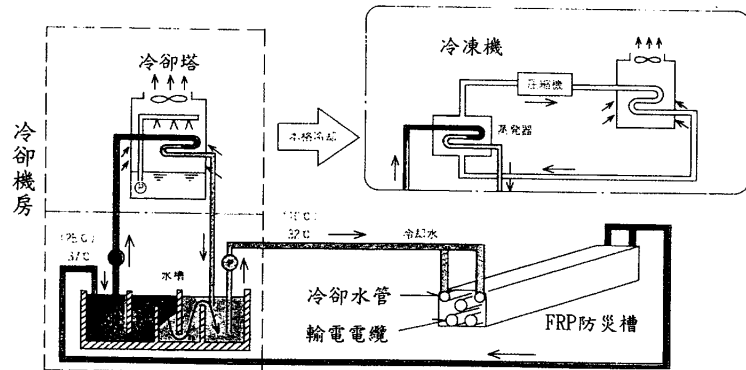


圖 3.7 防災槽內間接冷卻水迴路系統示意圖

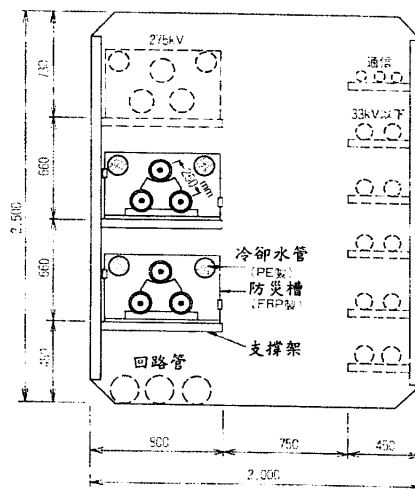


圖 3.8 洞道剖面圖

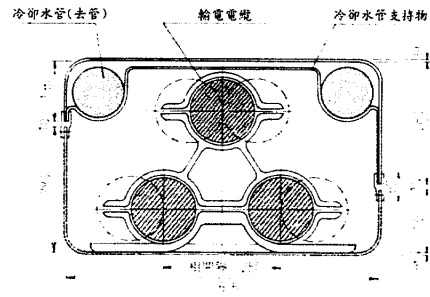


圖 3.9 防災槽內輸電電纜及冷卻水管配置圖

其送電容量約為不加間接水冷卻系統相同配置之線路的 1.3~2.3 倍

(2)方案二 洞道內間接水冷卻方式(適用於交連 PE 電纜)

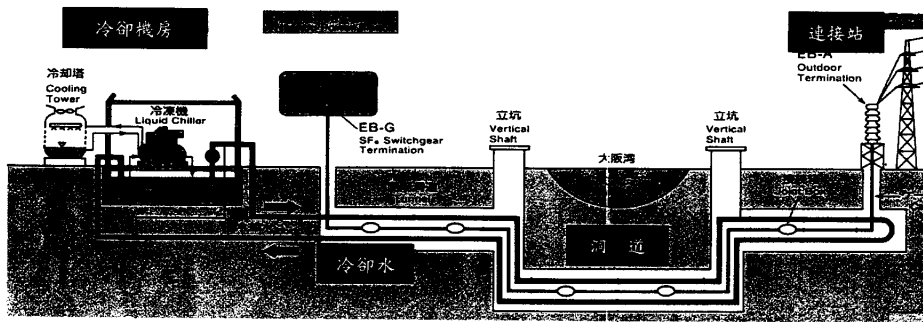


圖 3.10 洞道內間接冷卻水迴路系統示意圖

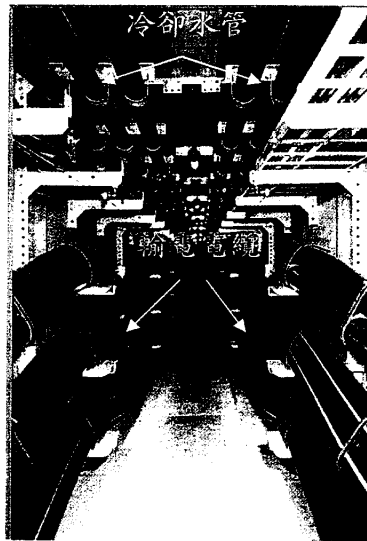


圖 3.11 洞道剖面圖



圖 3.12 冷卻機房示意圖

其送電容量約為不加間接水冷卻系統相同配置之線路的 1.2~3.3 倍

肆、洞道內冷水管間接冷卻系統設備及通風設備簡介

洞道內冷水管間接冷卻系統包含冷卻機房及循環水系統，配合變電所土木施工及變電設備裝機之興建時程，電纜線路之冷卻系統先期的設備有冰水主機、冷卻水塔、儲冰水槽等；而後期的設備則有泵浦、冷卻水管等等。從高可靠度、低成本、維修容易的觀點來看，整個冷卻系統應採用自動控制較好。冷卻系統的概要圖如圖 4.1 所示(頂湖~仙渡 345KV 地下輸電電纜線路冷卻系統)。而冷卻系統設備容量的計算條件一般如下：

- 洞道內的溫度必須被冷卻至小於或等於 37°C 。
- 循環冰水入水溫度 8°C 。
- 電纜發熱量：終期系統。

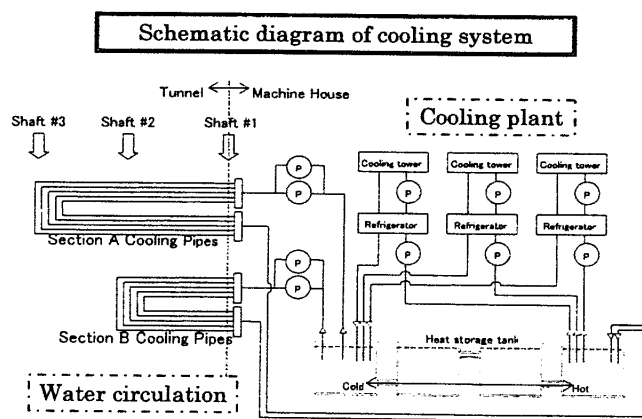


圖 4.1 洞道內冷水管間接冷卻系統概要圖

一、冷卻機房

在儲冰水槽裡冷水與熱水被區隔至兩側，熱水經由冰水主機與冷卻水塔冷卻後再回到冷水側。

(1)冰水主機

容量比較高的冰水主機，有螺旋式與離心式兩種型式，冰水主機的數目必須由保養與損壞維修的考量來決定。

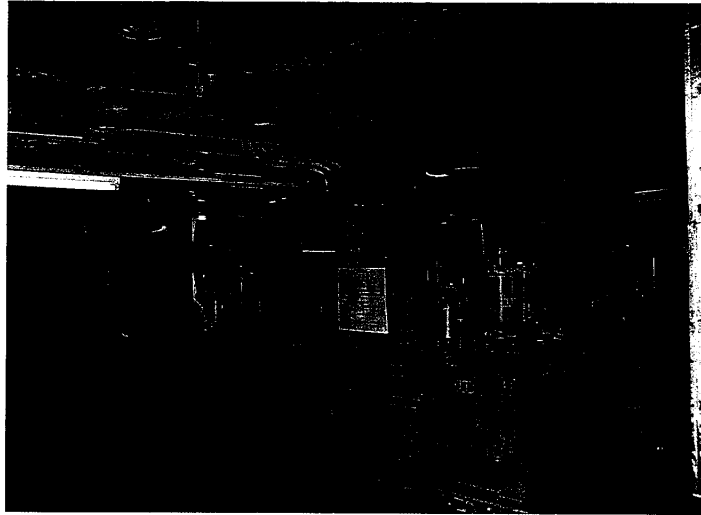


圖 4.2 冰水主機

(2)冷卻水塔

冷卻水塔可區分為開放式與密閉式兩類，其中密閉式的冷卻水塔由於冷卻水不會受到空氣的污染，且流經冷卻水的管路也不會受到侵蝕，因此比較適合。而當我們連續操作冷卻水塔時，部份冷卻水塔的水量

會散失，因此當連續操作冷卻水塔時必須補充冷卻水量，其補充水量之公式如下：

$$M = E + W + B$$

M：補充水量[m³/h]

E：蒸發水量[m³/h]

W：濺落水量[m³/h]

B：強制供水量(compulsion blow water quantity)[m³/h]

a.蒸發水量(E)

假如所有冷卻水所接受的熱量，相當於冷卻水塔以蒸發的方式帶走的熱量，則蒸發水量計算公式如下：

$$E = R \times \Delta t_w \times c_{aw} / \gamma$$

R：冷卻水量[m³/h]

Δt_w ：溫度差[°C](入水溫度 - 出水溫度)

c_{aw} ：水的定壓比熱[kcal/kg °C](=0.998 at 40°C)

γ ：水的蒸發潛熱[kcal/kg]

b.濺落水量(W)

濺落水量的定義是水從冷卻水塔裡與空氣一起排出被濺起散落的水

量。一般大概是冷卻水量的 0.05% ~ 0.2%。

c. 強制供水量(B)

為防止因蒸發或飛濺損失對管路所產生之腐蝕影響應自動供應流水。補充水量計算方式如下：

$$B = (E + (1 - N) \times W) / (N - 1)$$

一般來說，操作之循環水量總體積需為初期冷卻水塔儲存槽存量之 5 倍以下。



圖 4.3 密閉式冷卻水塔

理論上冷凍機與冷卻水塔應該以一對一的方式來設置，比較能增加系統的可靠性及擴充性。

二、冷卻循環水系統

冰水的循環方式是冰水從儲冰水槽流入洞道內的冷卻水管，吸收電纜所散發出的熱量，再回到儲冰水槽的熱水側。

(1)儲冰水槽(Heat storage tank)

由冷凍機或冷卻水塔所製造的冰水，是被儲存在儲冰水槽裡，當冰水循環系統啟動後，冰水從儲冰水槽裡流出，循環冰水吸收了來自電纜的熱量，然後回到儲冰水槽溫度較高之一側，儲冰水槽的概略圖如圖 4.4 所示。儲冰水槽通常安裝在建築物地下室，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，在槽的周圍必須包覆絕熱物質，以防止熱損失，儲冰水槽細部構造圖如圖 4.5 所示。當水溫超過”Tank for starting”的設定值，冷凍機便自動地啟動；當水溫低於”Tank for stop”的設定值，冷凍機便自動地停止操作。冷凍機啟動與停止動作由儲冰水槽的散熱或蓄熱狀況自動地重複，然而冷凍機的啟動與停止動作，並沒有直接與循環水系統的啟動與停止連接。

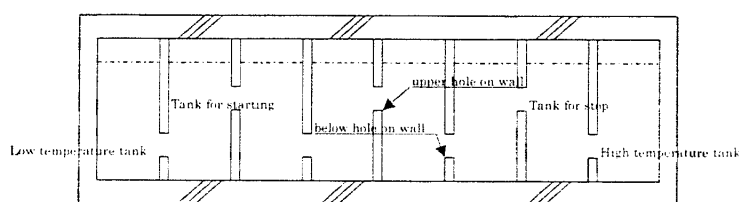


圖 4.4 儲冰水槽示意圖

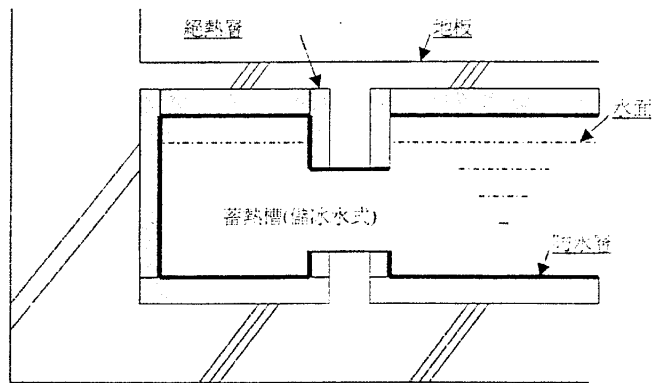


圖 4.5 儲冰水槽細部構造圖

(2) 泵浦

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。一般基於維修與保養的考量，大多同時安裝兩台泵浦。一台正常使用，另一台則為輔助及預備使用泵浦。

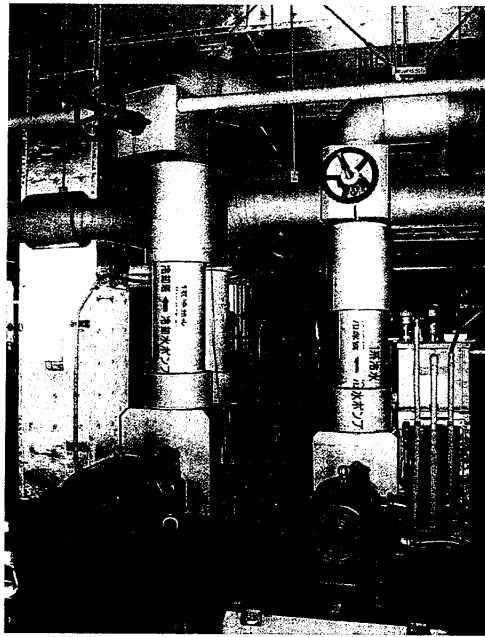


圖 4.6 冷卻水管泵浦

(3)冷卻水管

洞道內裝設冷卻水管的管數必須依照終期系統最終的電纜總發熱量計算而得，然而可設立的最多管數，必須依據洞道所能容納的實際斷面積來配合。而冷卻水管的支點距離可由下面公式求得：

$$L < \sqrt{(\pi^2 \times E \times I / F)}$$

$$F = E \times A \times \alpha \times T$$

L：冷卻水管支點距離[cm]

E：楊氏係數[kg/mm²]

F：固定時所產生的軸向應力[kg]

I：慣性矩[cm⁴]

A：冷卻水管斷面積[mm²]

α ：熱膨脹係數[1/°C]

T：冷卻水管溫度[°C]

a. 洞道水平部份

聚乙烯(PE)管材近來有被大量使用在空調方面的趨勢，它有確保冷卻水壓、水溫(0°C~40°C)的穩定，及對熱效率的提高等等的優點。

洞道垂直部份

在垂直面的部份，必須以束帶或撓性物使水管確實固定，因此管材必須承受來自繫緊物的張力，由於洞道內的濕氣較重及上述原因，因此使用不鏽鋼管材較好。

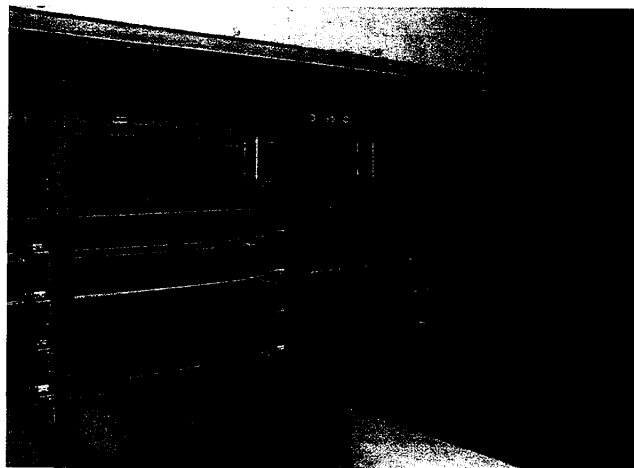


圖 4.7 聚乙烯(PE)冷卻水管

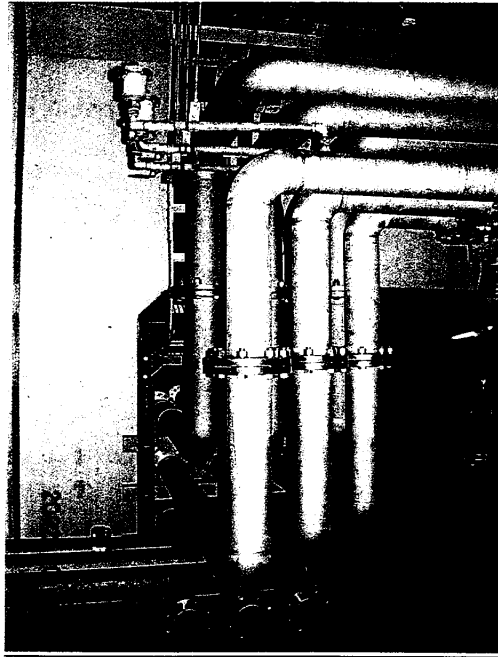


圖 4.8 不鏽鋼冷卻水管

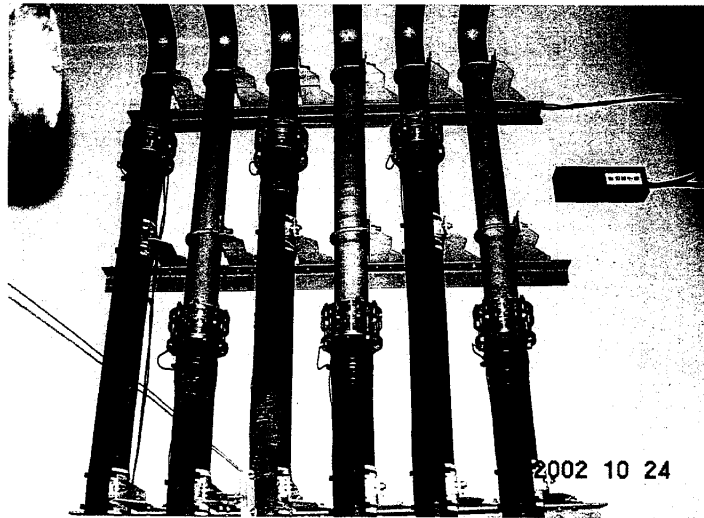


圖 4.7 不鏽鋼冷卻水管接聚乙烯(PE)冷卻水管示意圖

三、通風系統

(1)通風設施設置目的

- a.用於電纜洞道內空氣之抽排與交換，以保持管道內作業環境的安全。
- b.用於電力輸配電幹線緊急排煙用。
- c.電力管道內由於電纜產生較大熱量，必須施以適當的通風以降低管道內的溫度。

洞道內施設通風設施除將部份有毒氣體抽排外，必可利用於外氣溫度較低時，引入外氣來冷卻電纜所產生的熱量。通風設備係將管道本身做通風管，並可利用連接站之直井或變電所用地施設通風孔，配置強制吸排氣通風口或自然進氣通風孔，惟各通風孔之設置必須考量景觀、噪音及洪水之影響，其構造與大小應考量通風區域範圍、風速等基準值來決定之，另便於管線維修，各通風口可兼作人員進出口之用。

(2)通風量之計算

通風量之計算係以洞道內定風速計算平時人員工作環境工安之需，而非以單位長度電纜發熱量為計算條件，依日本勞工作息標準第五條規定在洞道內溫度高於 30.6°C 應啟動風機，一般來說將較低溫之外氣引

入，把管道內較高溫的熱量排出。因此在通風設計條件皆以外氣最高為 34°C 來考量，若管道內溫度高於此 5°C (亦可調整為 4°C 或 3°C) 時，便立即啟動風機實施洞道通風動作，並於降低至接近外氣溫度時停止風機之運轉，另可規定在每天固定時間藉定時器來實施通風。

(3)通風設施設計準則

洞道通風系統一般設計條件如下：

- a.洞道內風速應保持 3.0m/sec 以下。
- b.通風口進出風速應保持在 5.0 m/sec 以下。
- c.洞道內溫度應保持在 40°C 以下
- d.通風機之操作運轉方式應為自動/手動及遙控方式。
- e.通風孔之噪音管制標準必須依據環保署所定標準為設計之基準，並做適當防治對策以不影響附近居民為主。

四、點檢時間表(以日本關西電力公司南港火力線為例)

(1)冷卻系統設備部份

設備	簡易查檢		停機查檢	
	頻率	項目	頻率	項目
冷凍機	每 6 年	更換油及油過濾器	每 6 年	大修
冷卻水塔	—	—	每 6 年 每 12 年	大修 更換油過濾器
冷凍水泵浦	—	—	每 6 年	大修
冷卻水泵浦	—	—	每 6 年	大修
循環水泵浦	—	—	每 6 年	大修
三路電動閥 (溫度控制)	每 3 年	更換油	每 10 年	大修
三路電動閥 (迴路選擇)	每 5 年	更換油	每 15 年	大修
即時總監測系統(在南港 G/S 冷卻機房側)	—	—	每 5 年	操作測試
即時總監測系統(在 ABIKO 維修辦公室側)	—	—	每 4 年	操作測試
溫度偵測器	—	—	每 3 年	輸出特性測試
冷卻水管	—	—	每 5 年	滲水試驗
儲冰水槽	—	—	每 10 年	清洗

(2)洞道監測系統部份

監測方式	頻率	資訊
警報通路 (在主控中心)	每天	警報(針對電力故障引起的無動作及異常現象)
		a.冷卻容量不足
		b.洞道內之溫度異常(允許溫度:37°C)
		c.火災
		d.通道閉門
即時總監 測系統 (在操作及維修辦公室)	每天	警報(所有無動作及異常現象)
		a.冷凍機故障
		b.冷卻水塔故障
		c.泵浦故障
		d.電動閥故障
		e.冷卻水管滲水
		f.冷卻水溫度異常
		g.其他
		資料(洞道內之條件)
		a.電流
		b.冷卻水流率
		c.冷卻水溫度
		d.洞道內溫度
		e.其他
		巡察
量測資料之確認(溫度、水流率、壓力等等)		

伍、光纖溫度監控設備簡介

一、前言

台灣地處亞熱帶，尤其夏季的基溫甚高，而洞道中之電纜均為長期釋出少量熱量，以輸電電纜為例，若積熱之溫度太高，不但影響電纜之壽命，且容易發生斷電事故。故在電力洞道內及通風孔設置溫度偵測器，由區域資料收集單元監控管道內之溫度，當管道內之溫度達到設定值時，立即啟動風機通風，藉以降低洞道內之溫度，所有洞道及機房各項冷卻設備(含冷卻水塔)、通風及空調系統均可由監控系統來監控，以減少維修人員的負擔，並可即時掌控該輸電線路所有訊息。

二、光纖偵溫原理

(1)光的干涉

所謂干涉，乃指兩個有週期性或規則性的波相遇而形成的現象。如果我們想利用這個干涉現象，就必須希望這個干涉現象能夠讓觀測者清楚分辨並且能夠持續一段時間。干涉儀是利用所使用之光的特性，將來自具有相同特性的兩個或多個光源的光波，在空間某點相互會合，因相位之間的差異而產生光強度變強或弱的現象，我們稱之為干涉。所謂具有相同特性的光源，是指具有相同頻率和穩定的相位關係的光源

(例如有相同的相位差 $\Delta\phi$)。在使用兩道光作干涉時，有時必須注意到兩者的偏極性，以免雖然兩道光交會了，卻沒有干涉條紋產生。通常比較容易出現光束偏極特性偏轉的情形，是利用面鏡將光束之水平面高度上升或下降時引起的，如果將光束分光後即保持在同一水平面，便比較沒有這一層顧慮。在組合各種類型的實驗時，無論是全像，斑點，和麥克森干涉，皆屬於一種以光的干涉方式進行的量測技術，必須留意到光束偏極特性的問題，這點是常為眾人所忽略的地方。光的干涉方式可按波動說的解釋：光以正弦波的波形前進，因此兩相同頻率及相同相位的光波向同一方向前進，即波峰對波峰，波谷對波谷時，會產生光波增強的現象，該處即得明亮條紋。若兩相同頻率，相位差 180 度，即波峰對波谷，波谷對波峰時，兩光波會互相干涉而抵銷，該處即得黑暗的條紋。利用條紋數及其分佈情形即可進行待測物之物理量差異的定量分析。

a. 麥克森干涉儀

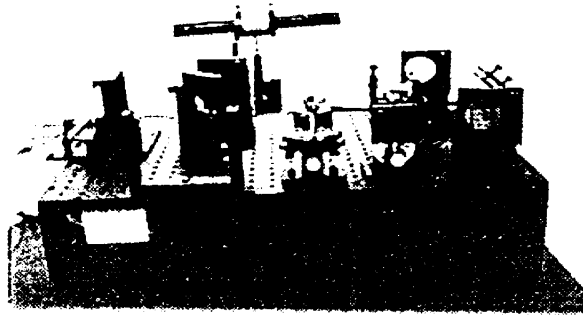


圖 5.1 麥克森干涉儀

麥克森干涉儀（圖 5.1） 是利用光波的干涉，而使量測的精度提高到 $1/2$ 個波長以內，是許多干涉儀的始祖。麥克森干涉儀，係以部分反射平面鏡使光束振幅區分成兩束，所得的兩光柱進行的方向及相位不完全相同，當其再相遇時便形成干涉條紋。如能瞭解麥克森干涉儀的基本原理和調整方法，便可進一步利用麥克森干涉儀來作一些量測實驗。因此將麥克森干涉儀稱之為利用光波干涉進行量測工作之敲門磚並不為過。由於麥克森干涉儀的出現，使得人類開始以光的波長為長度測量的基準。麥克森干涉儀是以振幅來區分的干涉儀之要例，麥克森(Michelson)干涉儀，係以部分反射平面鏡使振幅區分所得的兩光柱進行的方向完全不同，當其再相遇時便形成干涉條紋。

部分反射平面鏡又稱分光鏡，使來自光源 S 之光分成強度相等之一反射及一透射光柱。光從鏡 M 正向反射，第三次通過 G 而達人目，光從鏡 M 反射，第二次通過 G，再由 G 之面反射而入目，加入玻璃板 G 之目的在使二線路在玻璃中之路徑相等，故 G 稱為補償板 (compensation plate)。此不僅是使單色光產生條紋的基本儀器，當用白光時亦是不可缺少的。

b. 麥克詹達干涉儀

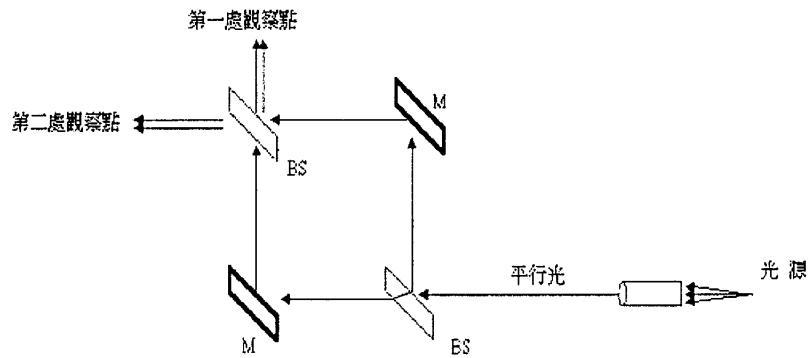


圖 5.2 麥克詹達干涉儀

麥克詹達(Mach-Zender)干涉儀其光學佈置如圖 5.2 所示。和麥克森干涉儀一樣，我們可以調整微動螺絲直至兩道光場的光點重合，而形成干涉條紋。我們在其中一道光加入燈焰時，將觀察到火焰熱度所造成空氣熱流場的改變(圖 5.3)。當我們在其中一道光加入一道噴氣氣流時，我們也可觀察到這道氣流對流場所產生的擾動。從上面

的兩個例子可以看出，Mach-Zender 干涉儀很適合熱流場的檢測工作，由於整個架設非常簡單有彈性，又可達非接觸式量測的目的，因此一些惡劣環境的量測工作皆利用 Mach-Zender 干涉儀來量測。例如利用 Mach-Zender 干涉儀量測電漿密度及內燃機汽缸燃燒氣體擾動情形，皆是常見的例子。

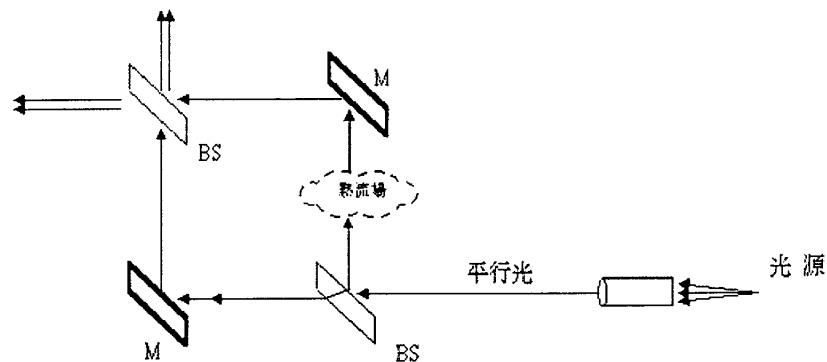


圖 5.3 利用 Mach-Zender 干涉儀進行熱流場的檢測工作

三、光纖溫度偵測器

利用類似麥克詹達干涉儀或麥克森干涉儀的光路安排，讓光束分成兩路，一為參考光，一為待測光，其中待測光經過待測之溫度場，而與參考光會合後產生干涉，當待測溫度場改變時，參考光也因光纖之熱膨脹及折射率變化而產生相位變化，因此干涉條紋所形成之頻譜也會有變動，利用這個條紋變動量去計算待測之溫度場溫度的改變量（圖 5.4）。

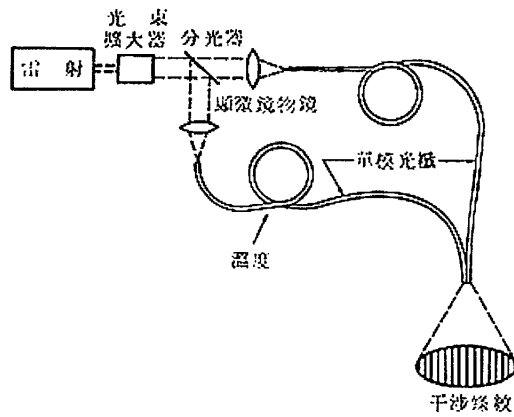


圖 5.4 光纖溫度偵測器示意圖

四、分散型光纖溫度監測系統

(1)系統之構成如圖 5.5 所示

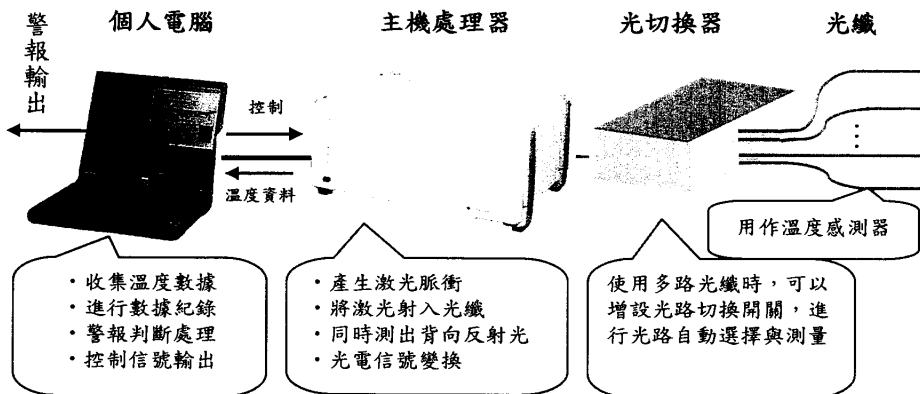


圖 5.5 分散型光纖溫度監測系統之組成

(2)系統基本原理

a. 簡易電路圖如下圖 5.6 所示

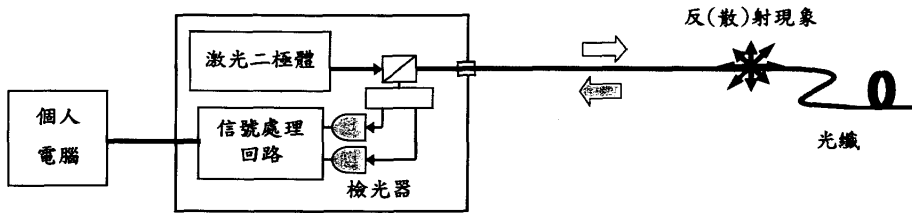


圖 5.6 分散型光纖溫度系統簡易電路圖

b. 動作原理如圖 5.7 所示

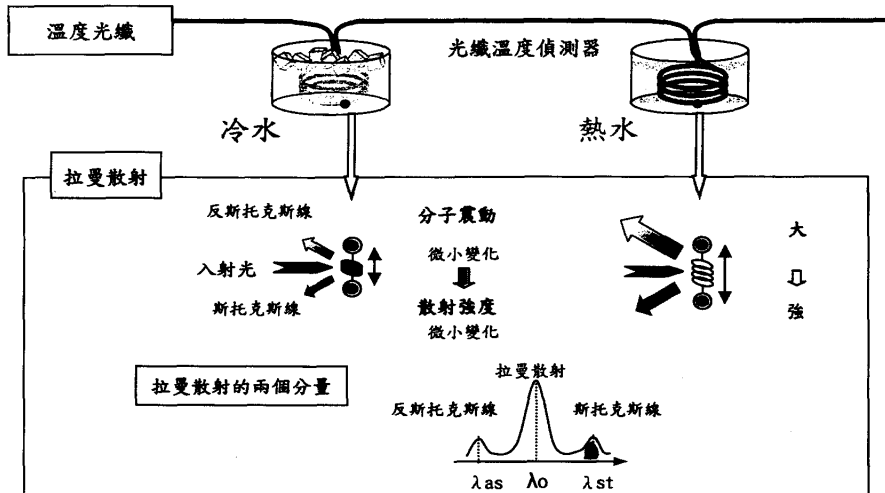


圖 5.7 分散型光纖溫度系統動作原理

物理現象：

當一個激光脈衝由光纖的一端射入並沿著光纖向前傳播時，光脈衝在經過光纖中的每一點時也都會產生一種反(散)射光。此反射光會背向

傳播返回到光纖的入射端，背向反射光的強度與光纖中該反射點的溫度之間存在著一定數學關係。

測溫原理：

利用測出光纖各點的反射光的強度，便可以推算出各反射點的溫度及其反射點的位置。距離則由拉曼散射光來回所需的時間來得到各反射點的距離(如圖 5.8 所示)，電腦取樣的溫度範例如圖 5.9 所示。

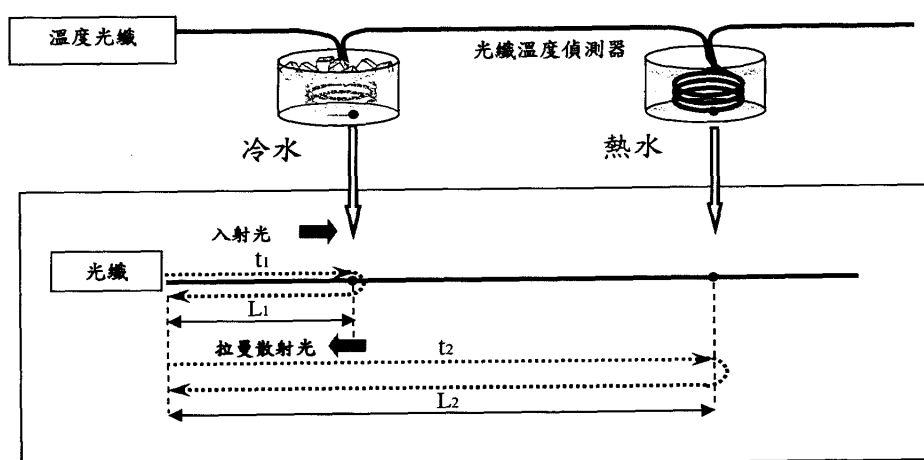


圖 5.8 分散型光纖溫度系統距離計算原理

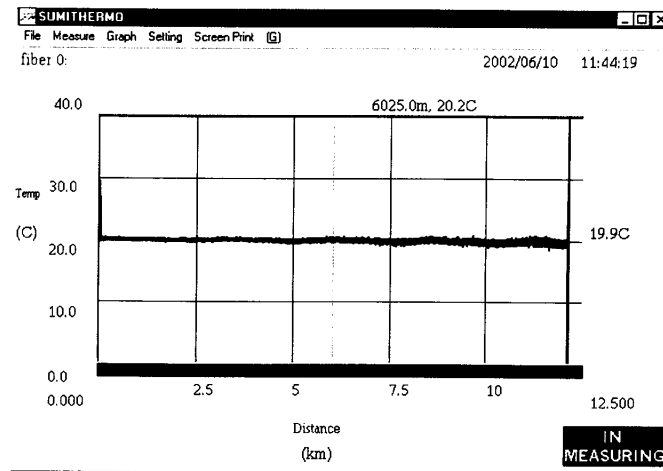


圖 5.9 分散型光纖溫度系統溫度取樣範例

分散型光纖溫度監測系統裝設方式如圖 5.10~5.14 所示

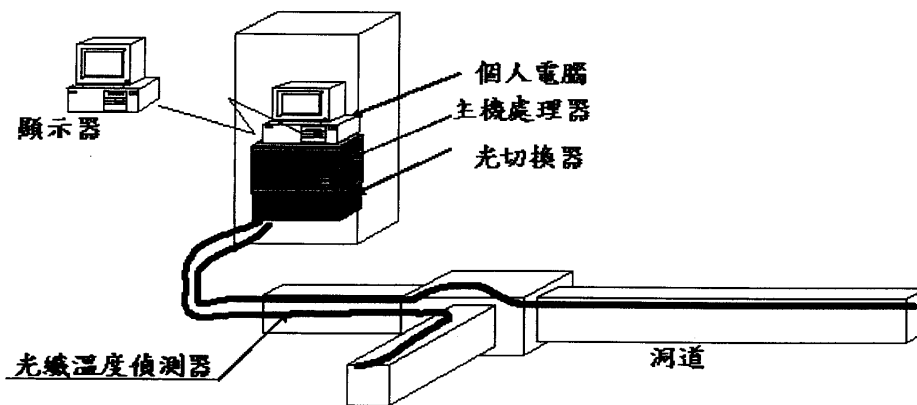


圖 5.10 分散型光纖溫度監測系統裝設方式(一)

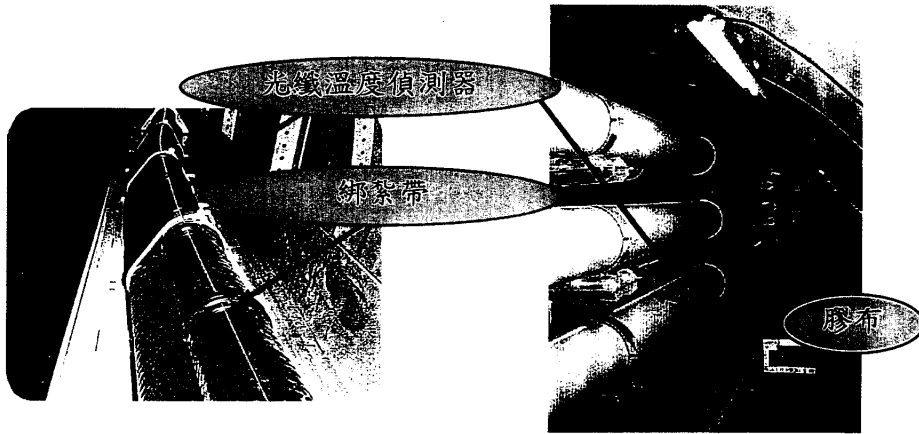


圖 5.11 分散型光纖溫度監測系統裝設方式(二)

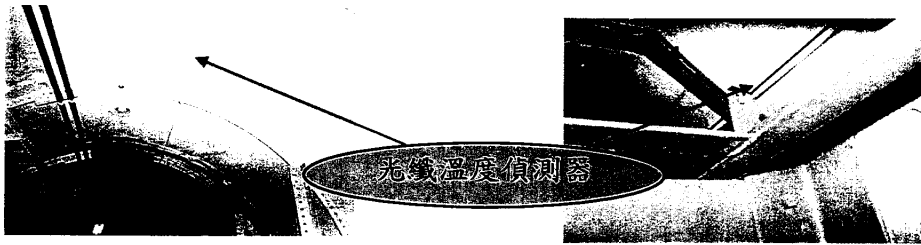


圖 5.12 分散型光纖溫度監測系統裝設方式(三)

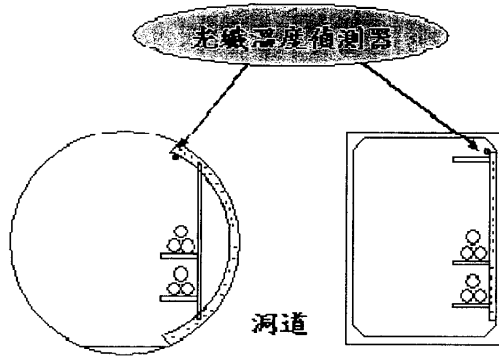


圖 5.13 分散型光纖溫度監測系統裝設方式(四)

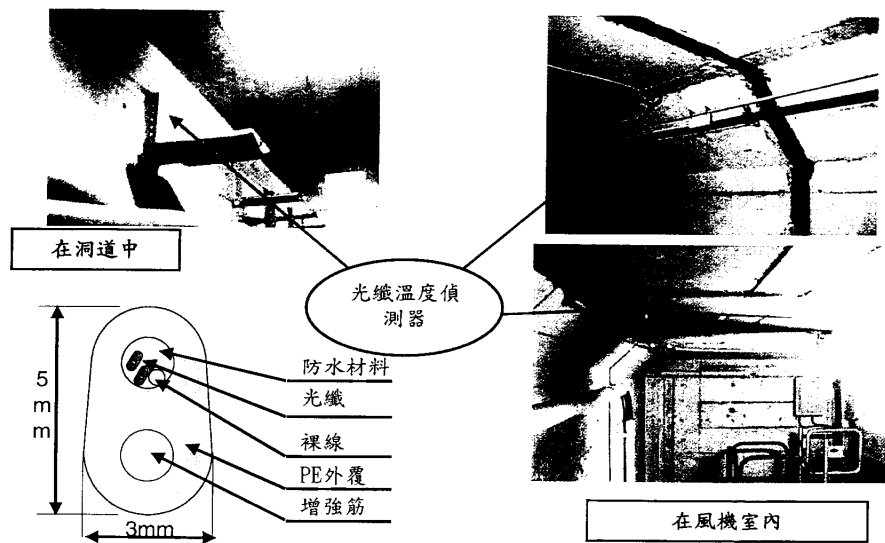


圖 5.14 分散型光纖溫度監測系統裝設方式(五)

分散型光纖溫度監測系統的特點為：

1. 由於溫度傳感是沿著光纖進行→溫度分佈的測量是連續多點，同時進行，可準確測量整條洞道或電纜的溫度變化、顯示多熱點位置及溫度分佈情況。
2. 由於光纖為石英材料所造，屬絕緣體→不會受到任何高電壓或電磁感應的干擾。
3. 由於光纖線徑小、柔軟、質輕→安裝施工容易，無須監視和維護保養。
4. 利用光纖溫度偵測器可即時監控洞道火災及異常溫度的發生，並可將資料記錄在伺服器中，可經由網際網路在監控中心立即處理所

有的資料(如圖 5.15)，或是接至個人電腦上監控(如圖 5.16-5.18)。

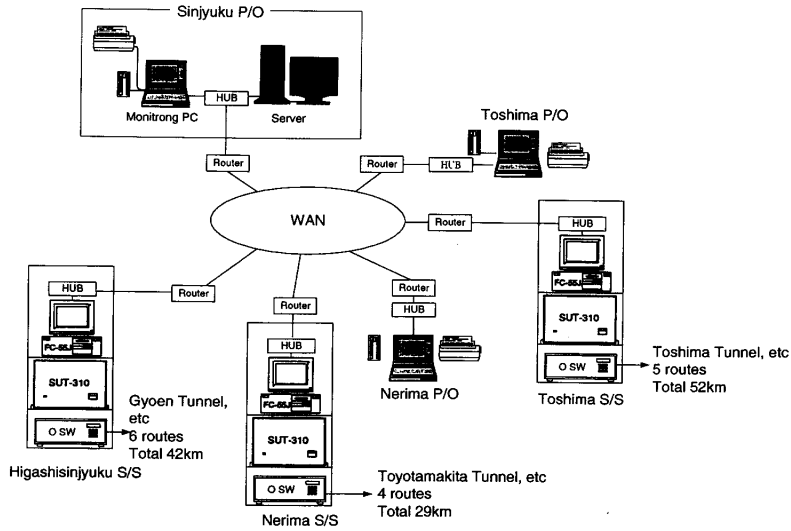


圖 5.15 網際網路監控方式

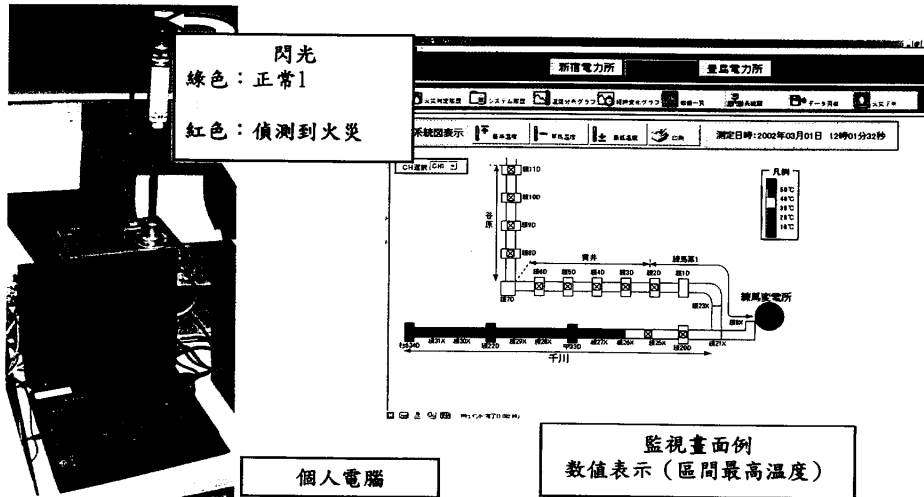


圖 5.16 個人電腦上監控方式(一)



圖 5.17 個人電腦上監控方式(二)

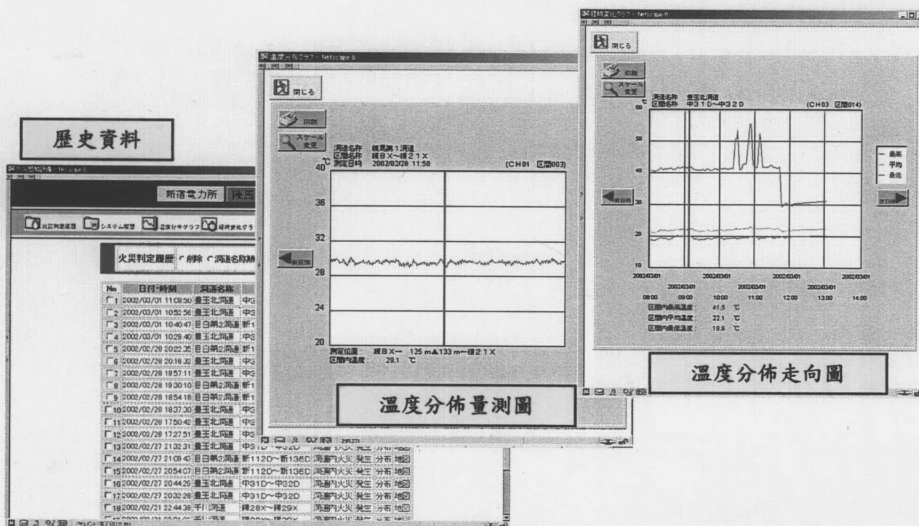


圖 5.18 個人電腦上監控方式(三)

陸、線路介紹

一、穿越河川及地下鐵潛盾共同管道

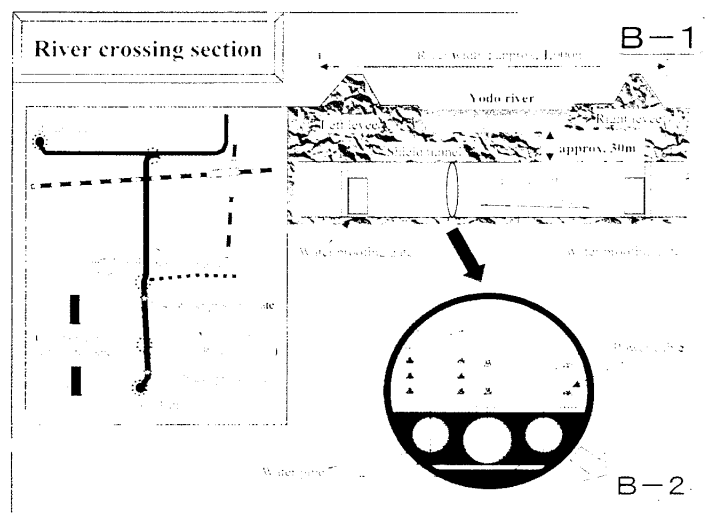


圖 6.1 潛盾洞道路徑概要圖、止水閘門配置圖及洞道剖面圖

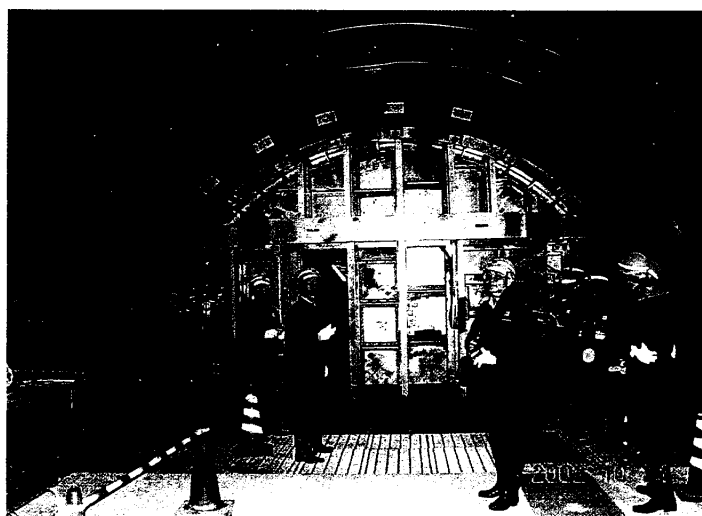


圖 6.2 止水閘門外觀圖

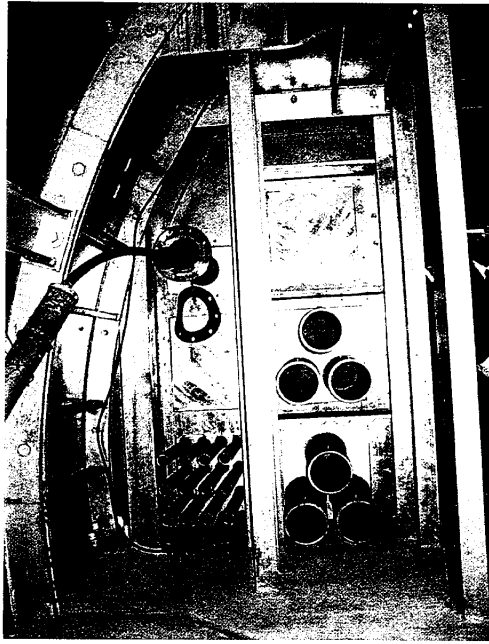


圖 6.3 止水閘門左側電纜過強管外觀配置圖

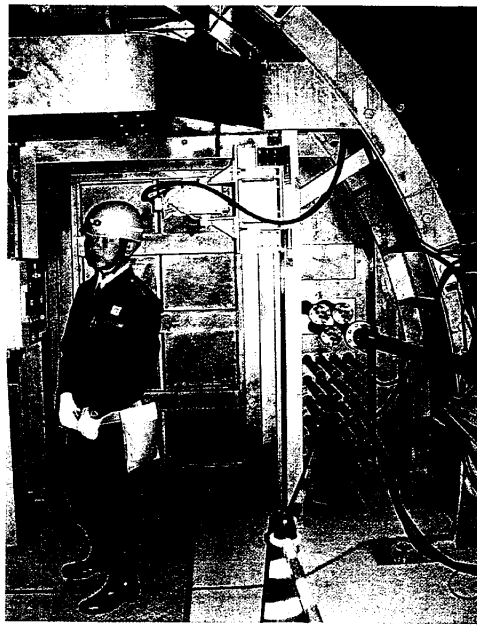


圖 6.4 止水閘門右側電纜過強管外觀配置圖



圖 6.5 潛盾洞道使鋼環片用外觀圖



圖 6.6 潛盾洞道使用混凝土環片外觀圖

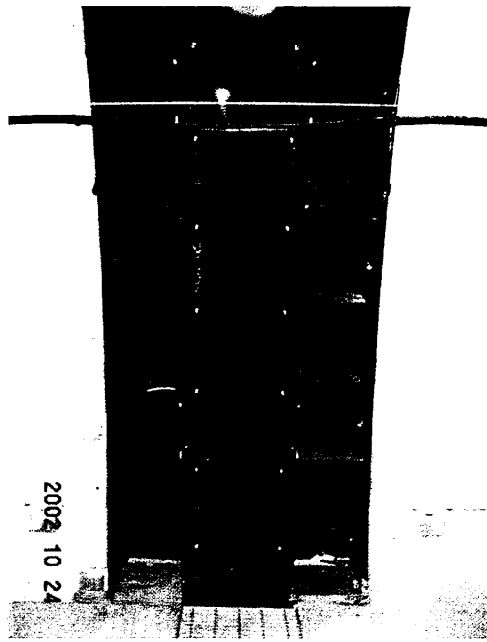


圖 6.7 潛盾洞道使用伸縮縫外觀圖

二、南港火力電纜線路

- 電壓等級：154KV
- 電纜線路長度：3.4KM(三回線)
- 電纜種類：2000SQMM 交連 PE 電纜
- 送電容量：600MW/回線
- 建構日期：1989.02 至 1990.03
- 冷卻方式：採用洞道內間接水冷卻方式

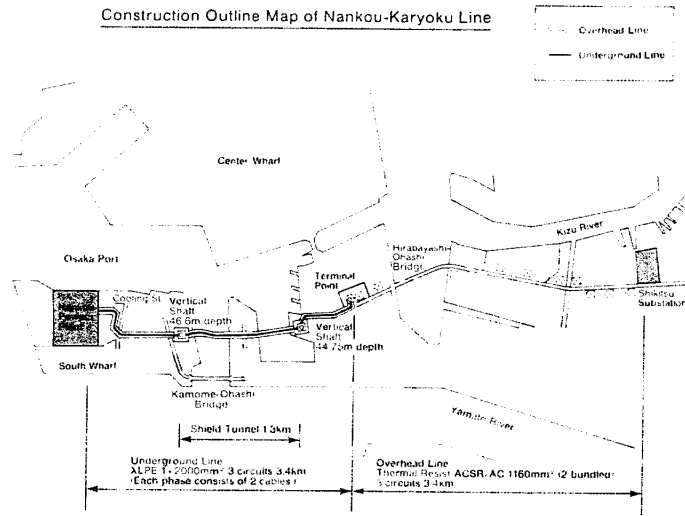


圖 6.8 線路概要圖

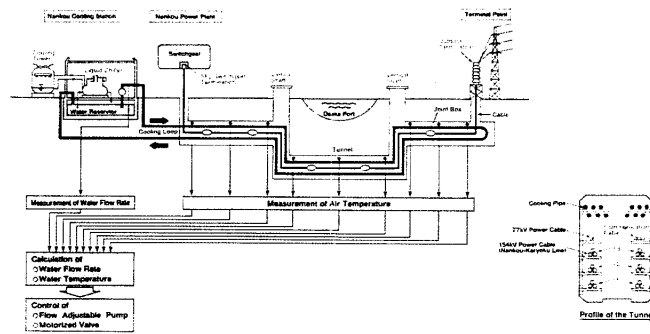


圖 6.9 線路剖面圖



圖 6.10 冷卻機房外觀圖

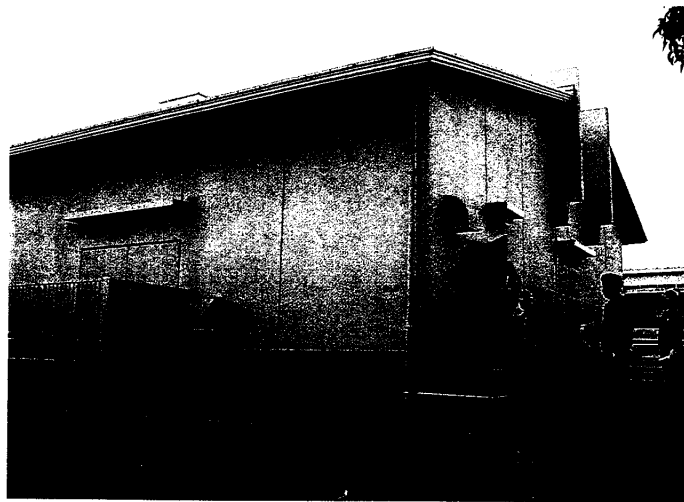


圖 6.11 通風風機室及豎井維修進出口外觀圖

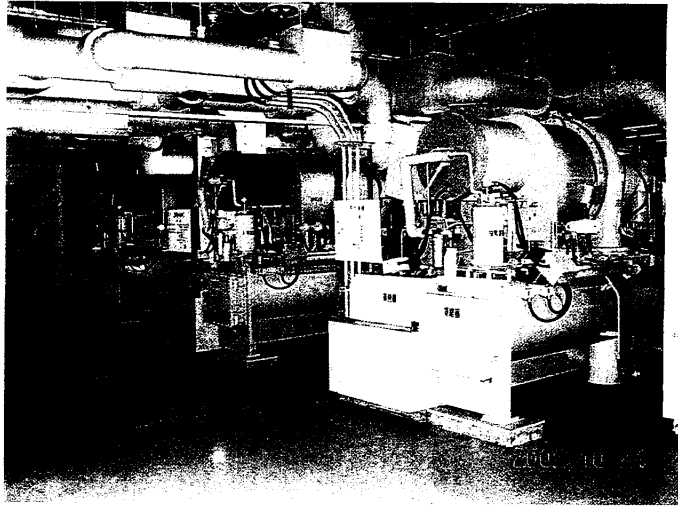


圖 6.12 冷凍機外觀圖

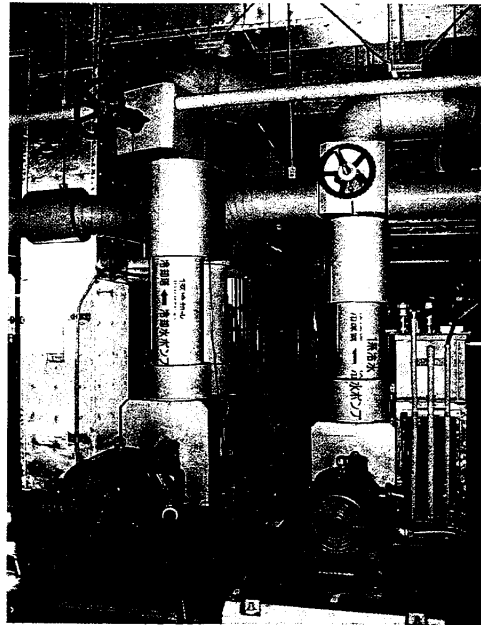


圖 6.13 冷卻水管泵浦外觀圖

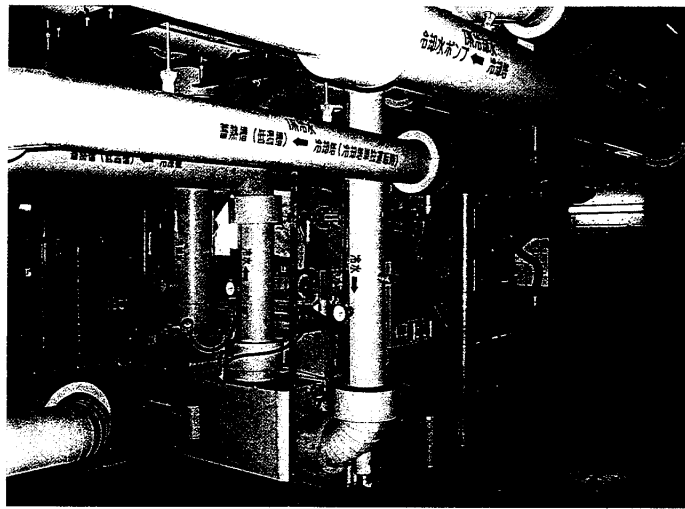


圖 6.14 冷卻水管外觀圖



圖 6.15 密閉式冷卻水塔外觀圖

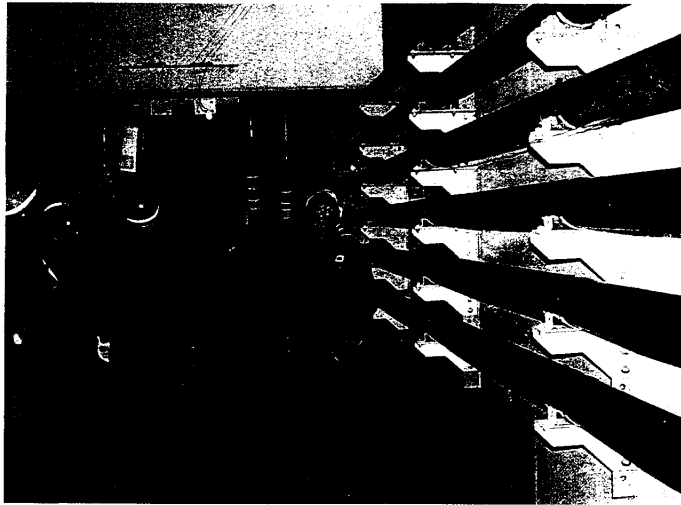


圖 6.16 洞道水平部份冷卻水管採用 PE 管外觀圖

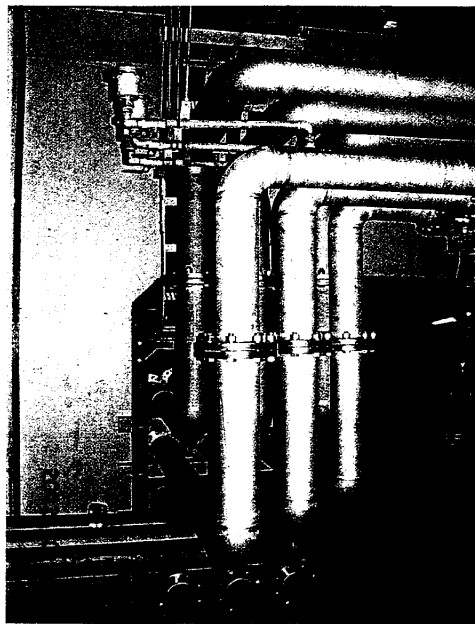


圖 6.17 洞道垂直部份冷卻水管採用不鏽鋼管外觀圖



圖 6.18 洞道內及冷卻機房冷卻系統電腦監控系統

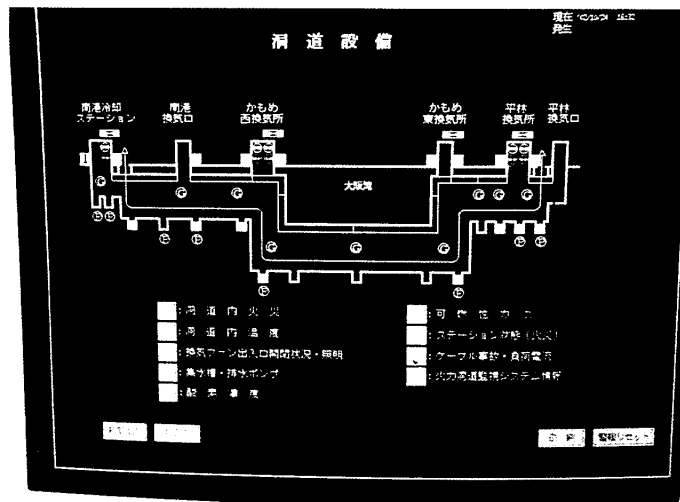


圖 6.19 電腦監控系統操作範例之一

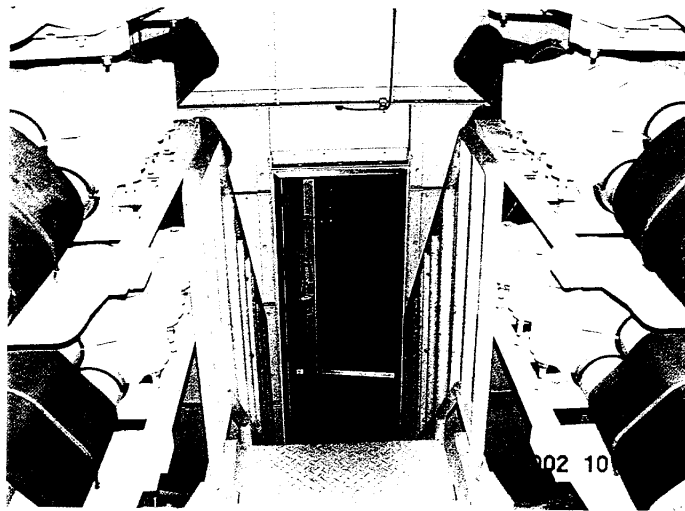


圖 6.20 洞道內通風區段分隔用之閘門(一)



圖 6.21 洞道內通風區段分隔用之閘門(二)



圖 6.22 洞道剖面圖

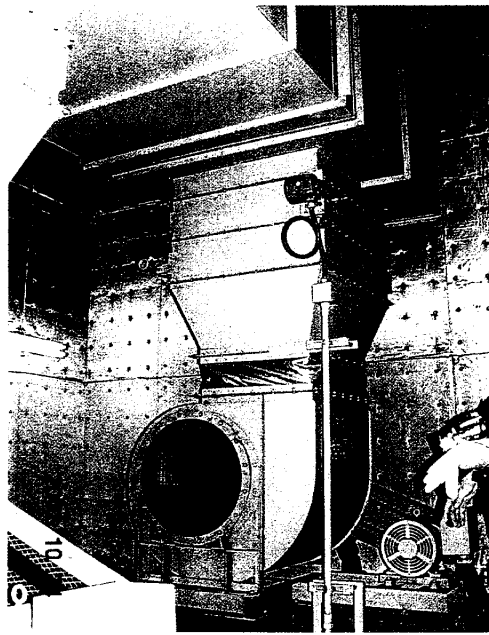


圖 6.23 通風風機外觀圖

三、ANAN ~ KIHOKU 500KV DC 海底電纜線路

- 電壓等級：500KV(DC)
- 電纜線路長度：50.7KM (二回線其中海底 48KM，陸上 2KM)
- 電纜種類：3000SQMM O.F.電纜(海底電纜採 PE 外覆充油電纜，陸上電纜採 PVC 外覆充油電纜)
- 送電容量：2800MW
- 建構日期：2000 年 07 月完成
- 冷卻方式：採用洞道內通風冷卻方式

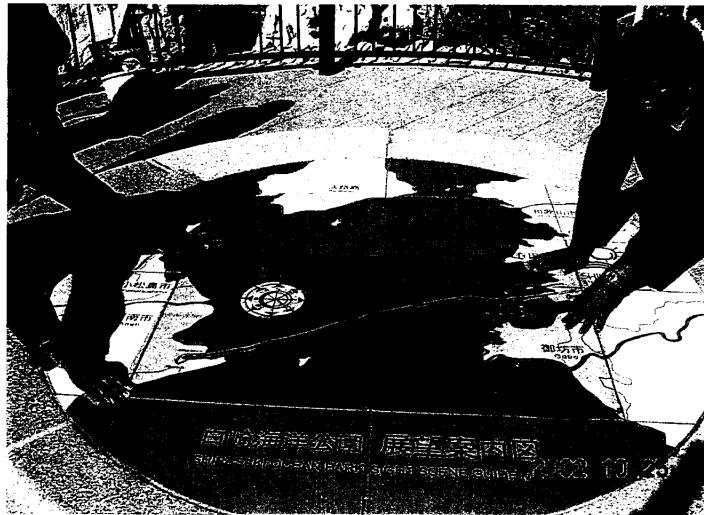


圖 6.24 線路概要圖

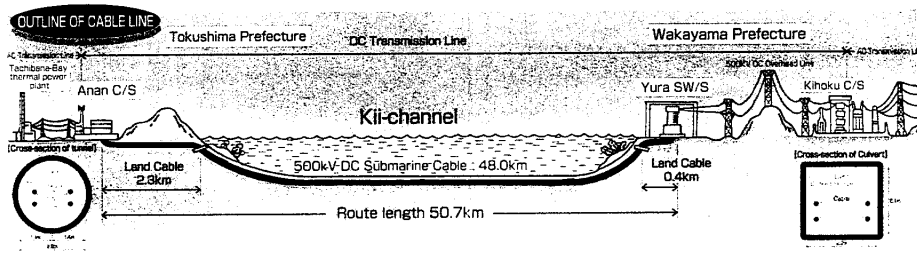


圖 6.25 線路剖面圖

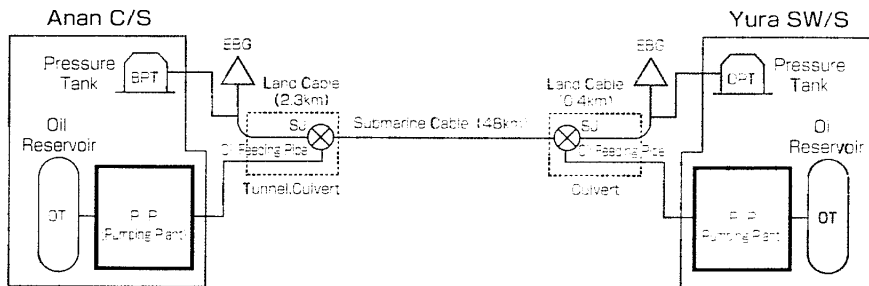


圖 6.26 電纜線路補油概要圖



圖 6.27 海底電纜線路補油泵浦外觀圖

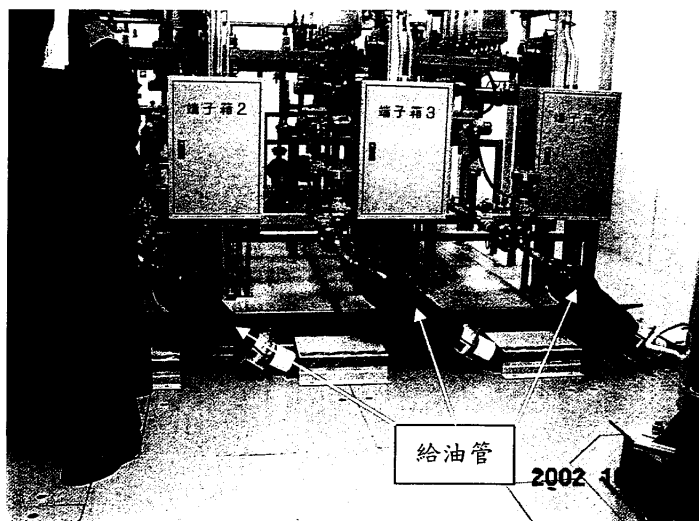


圖 6.28 海底電纜線路補油管外觀圖

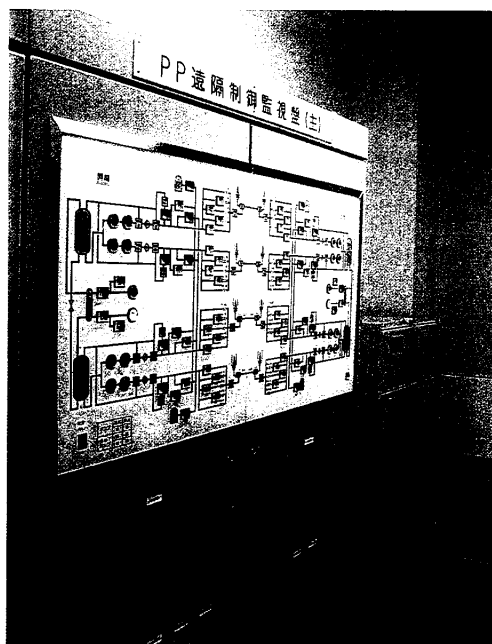


圖 6.29 海底電纜線路補油系統監控盤外觀

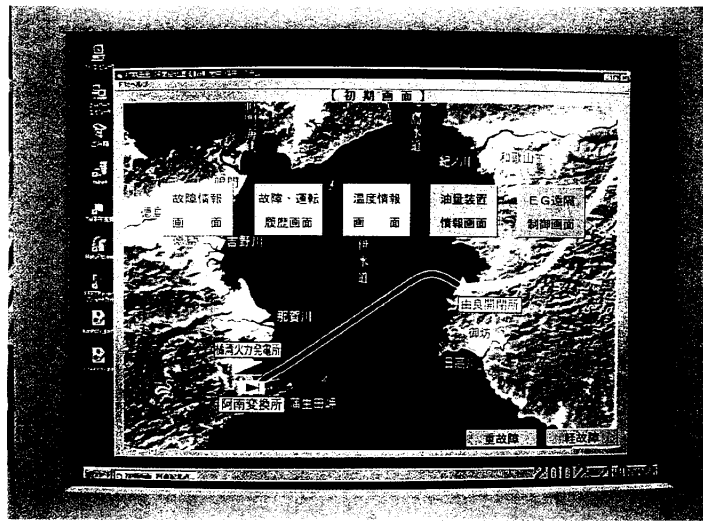


圖 6.30 輸電線路送電情況及所有附屬設備電腦監控系統

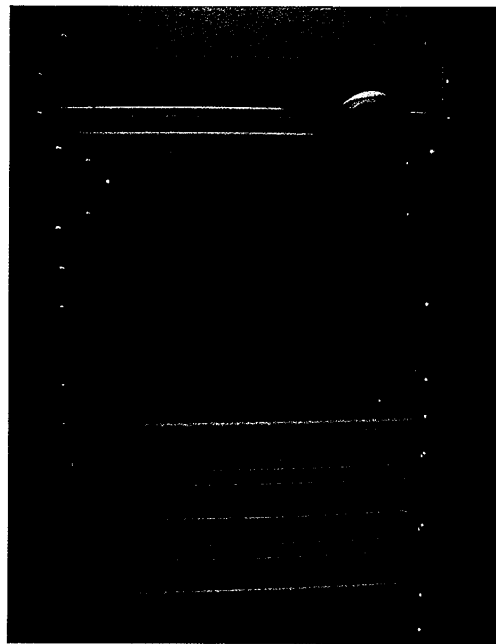


圖 6.31 分散型光纖溫度監測系統處理機及光切換器外觀圖

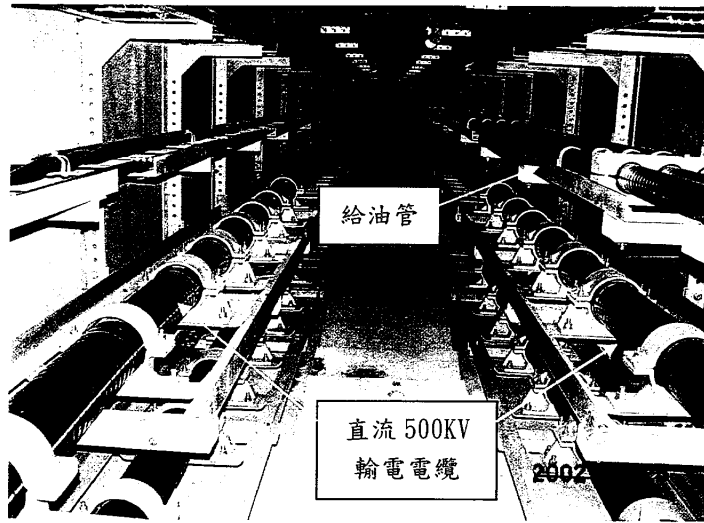


圖 6.32 洞道剖面圖(一)

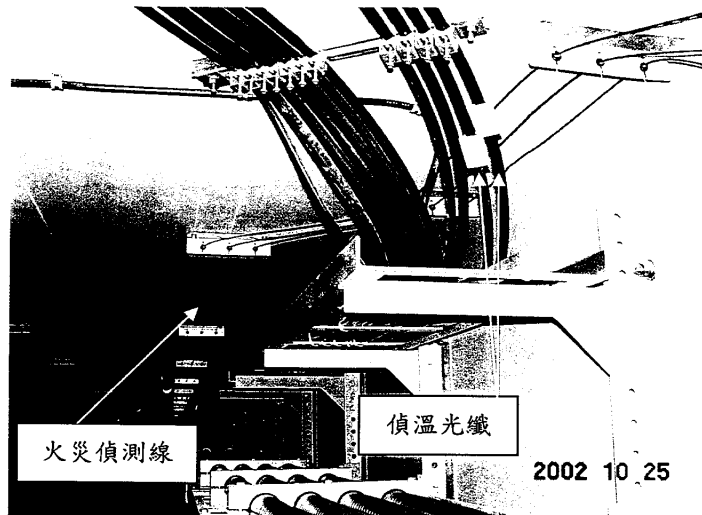


圖 6.33 洞道剖面圖(二)

四、梅森~金山~南武電纜線路

- 電壓等級：275KV
- 電纜線路長度：15KM(二回線)
- 電纜種類：2500SQMM O.F.電纜
- 建構日期：昭和 63 年 12 月
- 冷卻方式：採用防災槽內間接水冷卻方式
- 送電容量：
 - 1.簡易冷卻(只有循環水系統開啟)時：290MVA/回線
 - 2.簡易冷卻(只有循環水系統及冷卻水塔開啟)時：500MVA/回線
(水溫 32°C)
 - 3.強制冷卻(循環水系統、冷凍機及冷卻水塔全部啟動)：
700MVA/回線(水溫 10°C)

設備概要圖

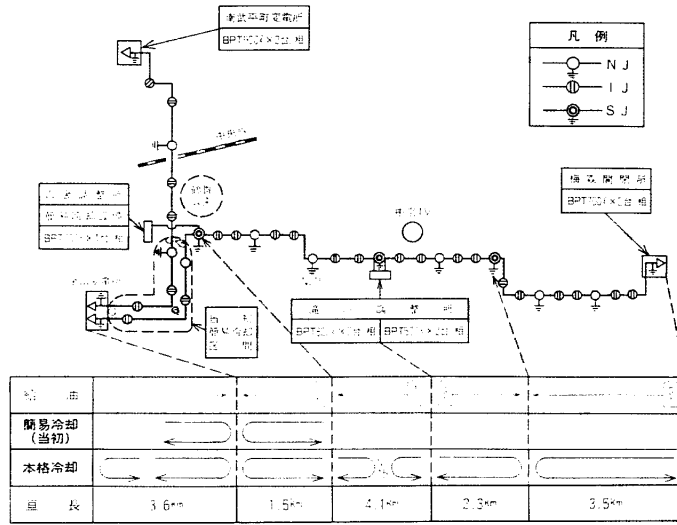


圖 6.34 梅森~金山~南武線電纜線路系統圖



圖 6.35 梅森~金山~南武線冷卻機房外觀圖

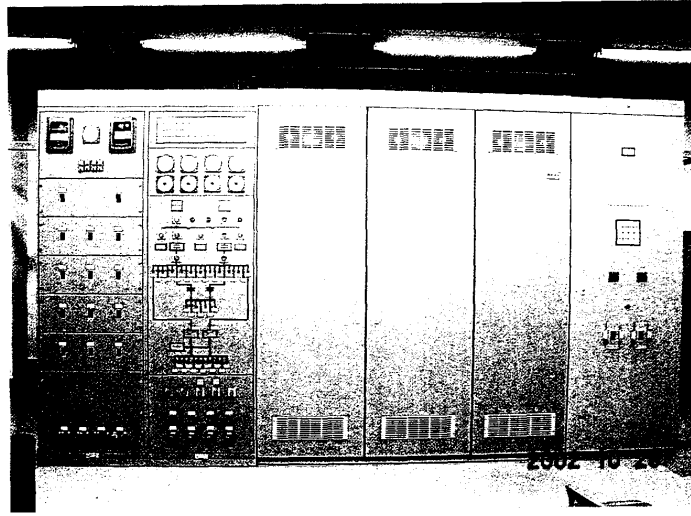


圖 6.36 防災槽內間接水冷卻系統之監控設備外觀圖

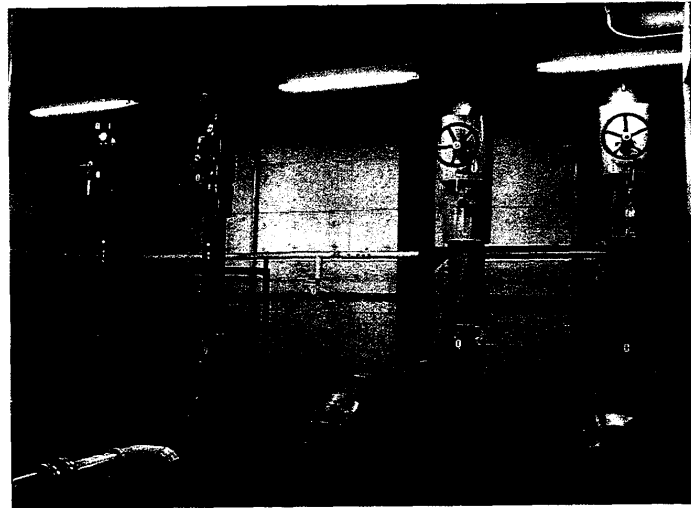


圖 6.37 冷卻水管泵浦外觀圖



圖 6.38 冷卻水管管道示意圖

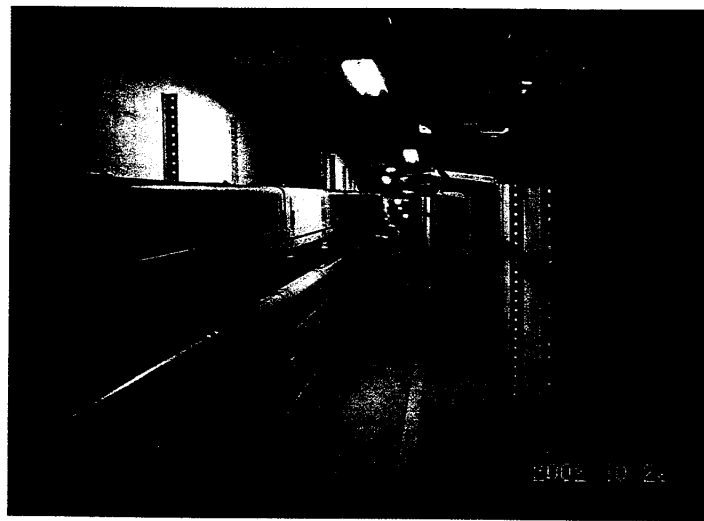


圖 6.39 洞道剖面示意圖

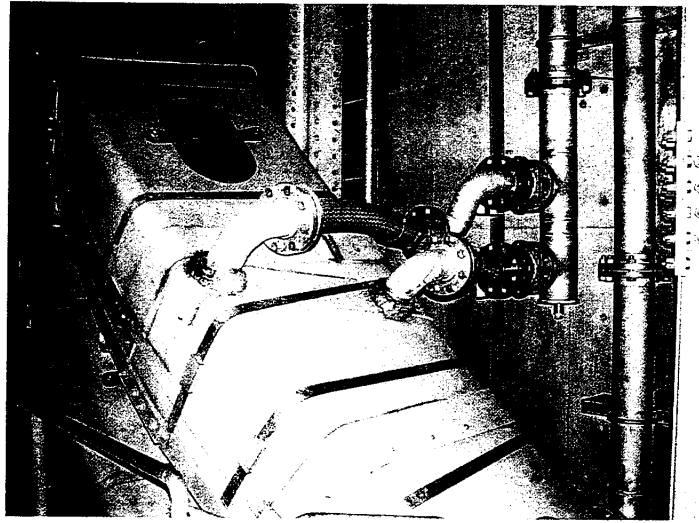


圖 6.40 冷卻水管引入防災槽之銜接方式

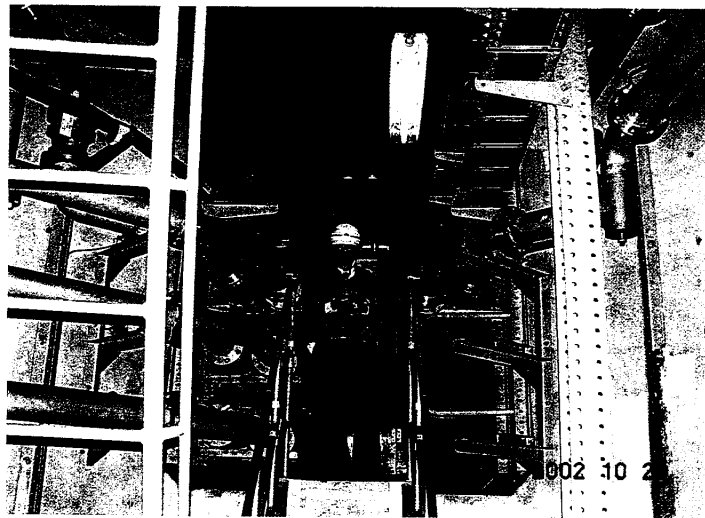


圖 6.41 洞道內通風區段分隔用之閘門

五、新名火東海線

- 電壓等級：275KV
- 電纜線路長度：3.3KM(二回線)
- 電纜種類：G.I.L 單心 9400SQMM
- 送電容量：300 萬 KW
- 建構日期：1998.03 完成
- 冷卻方式：採用洞道內通風冷卻方式

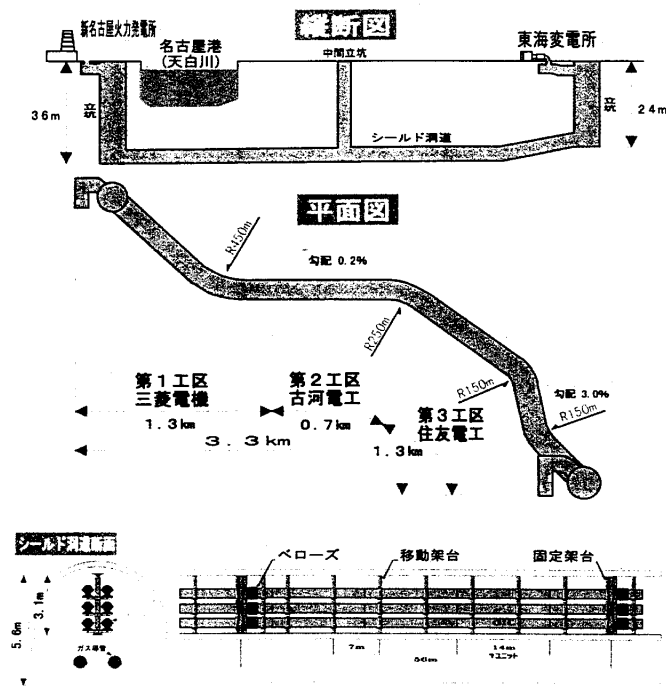


圖 6.42 G.I.L.線路平面及縱斷面圖

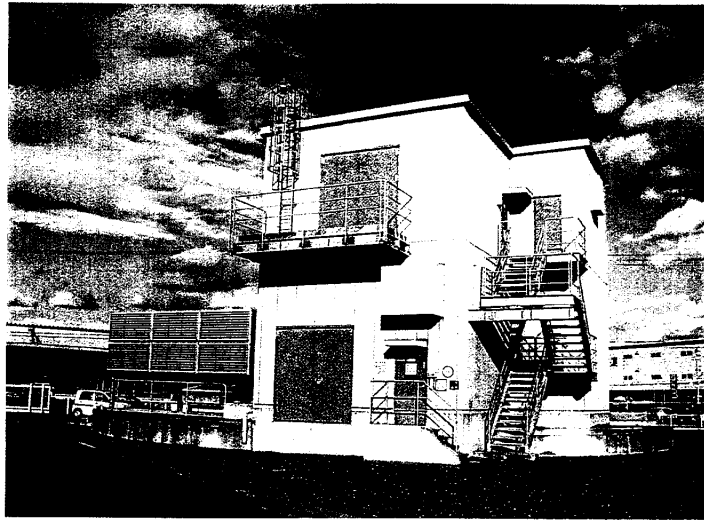


圖 6.43 通風風機室及豎井維修進出口外觀圖



圖 6.44 GIL 材料及維修器材投入孔

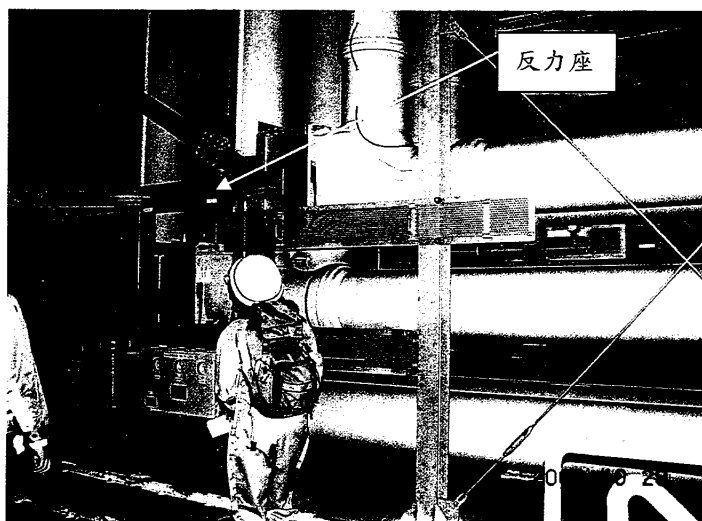


圖 6.45 G.I.L 反力座外觀圖

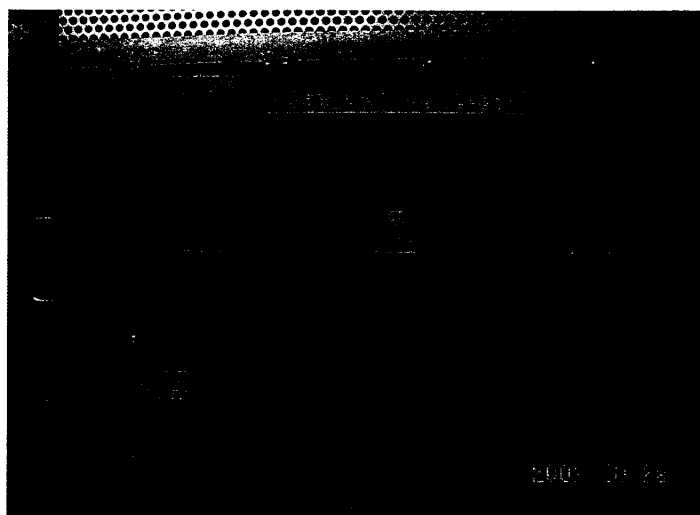


圖 6.46 G.I.L.每一段(約 56m)內部 SF6 氣體壓力監視器



圖 6.47 G.I.L.潛盾隧道剖面圖

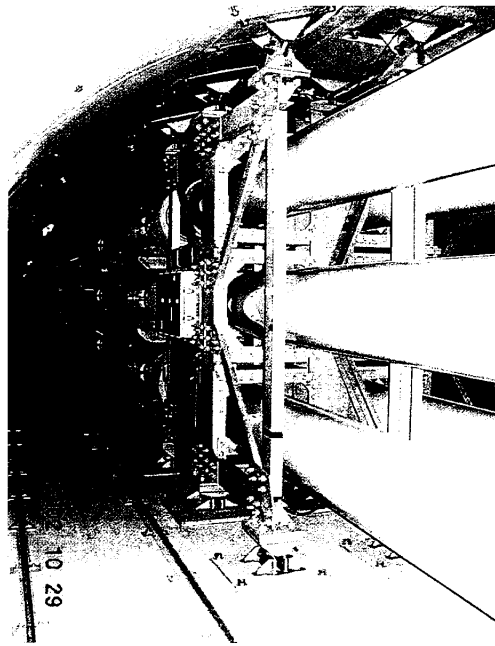


圖 6.48 G.I.L.固定支撐座外觀圖(一)

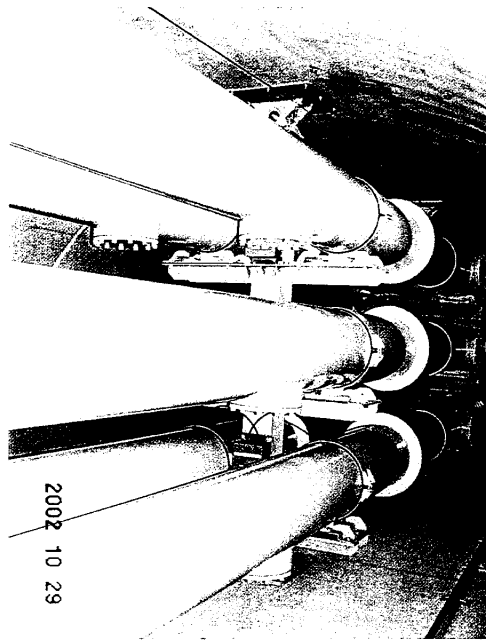


圖 6.49 G.I.L.固定支撐座外觀圖(二)

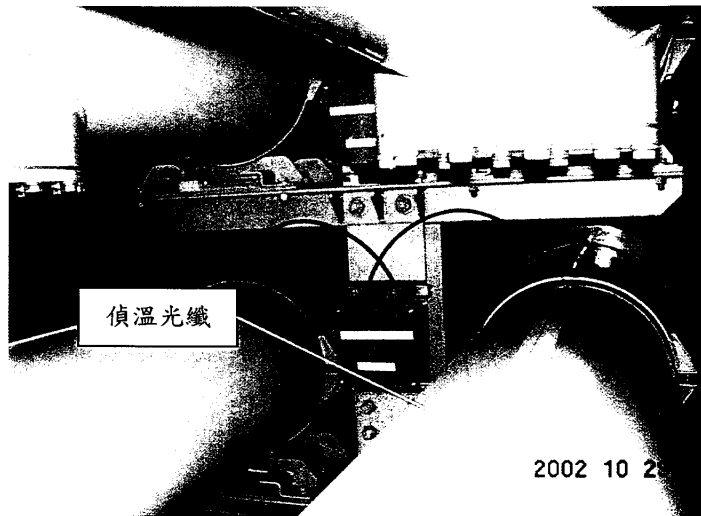


圖 6.50 利用溫度光纖偵測 G.I.L.表面溫度之方式

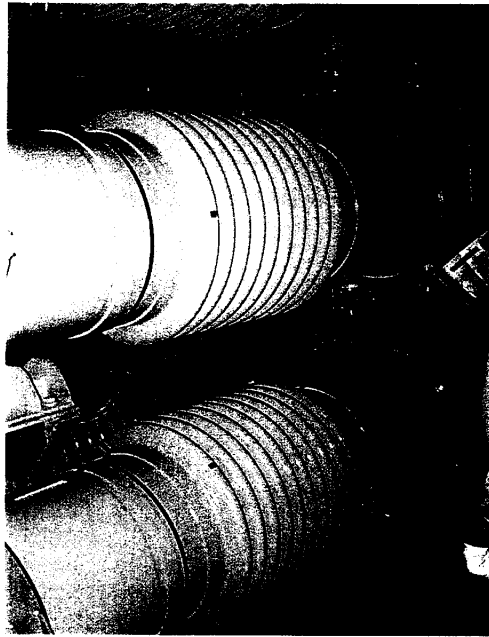


圖 6.51 G.I.L.防震伸縮縫之配置方式

六、名城地下變電所

- 占用面積：地上 1,178M² 地下 7,550M²
- 地下建物外觀尺寸：90X86M
- 基礎底盤深度：32.5M
- 275KV 電纜線路：4 回線(終期 12 回線)
- 154KV 電纜線路：6 回線(終期 15 回線)
- 主變壓器：275/154/31.5 450MVA 2 台(終期 3 台)
- 調相設備：275KV 100MVA 2 台(終期 3 台)

7 内部掘削・躯体構築説明図

下図は、地下5階掘削工事における状況を示したものです。

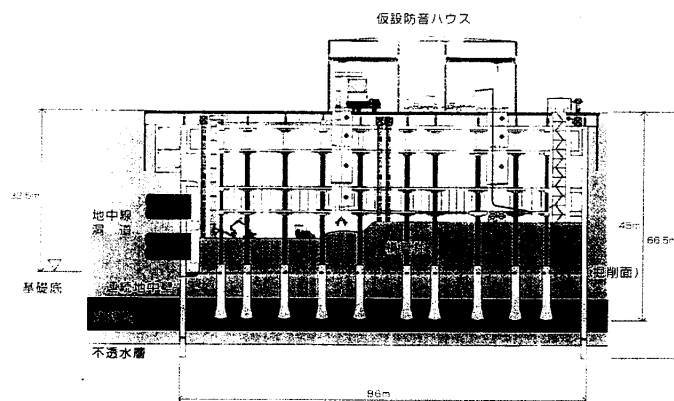


圖 6.52 名城地下變電所剖面圖

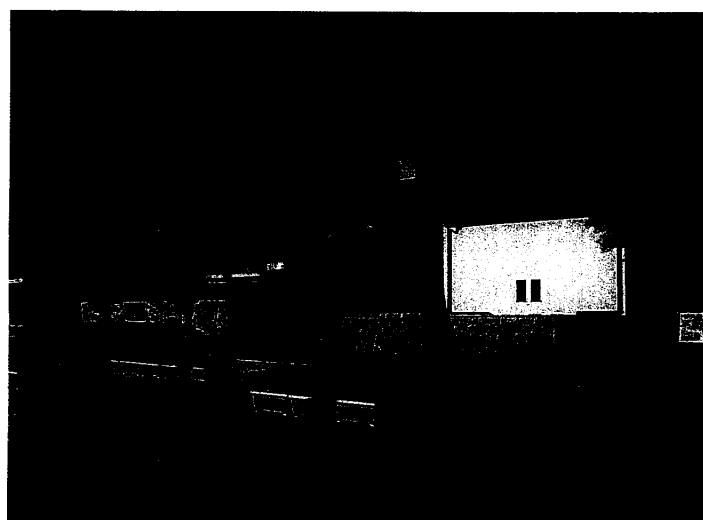


圖 6.52 名城地下變電所地面外觀圖

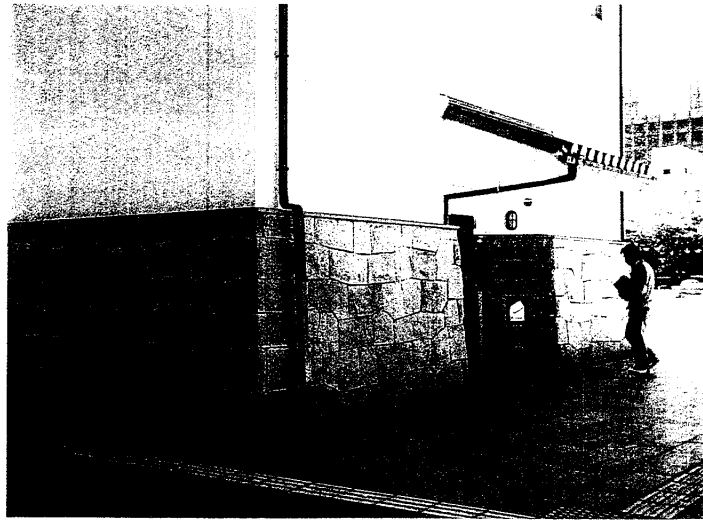


圖 6.53 名城地下變電所進出孔外觀圖

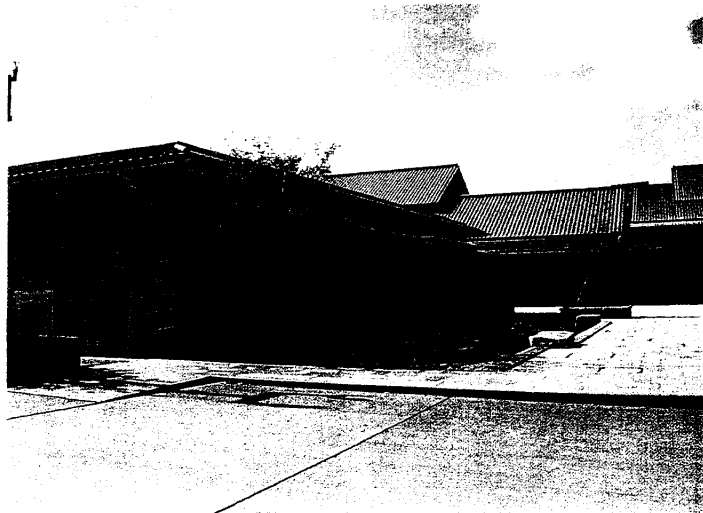


圖 6.54 潛盾洞道通風孔外觀圖

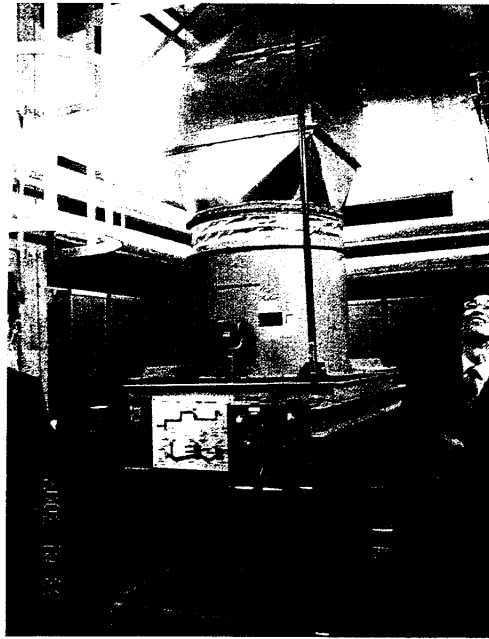


圖 6.55 潛盾洞道送風風機外觀圖

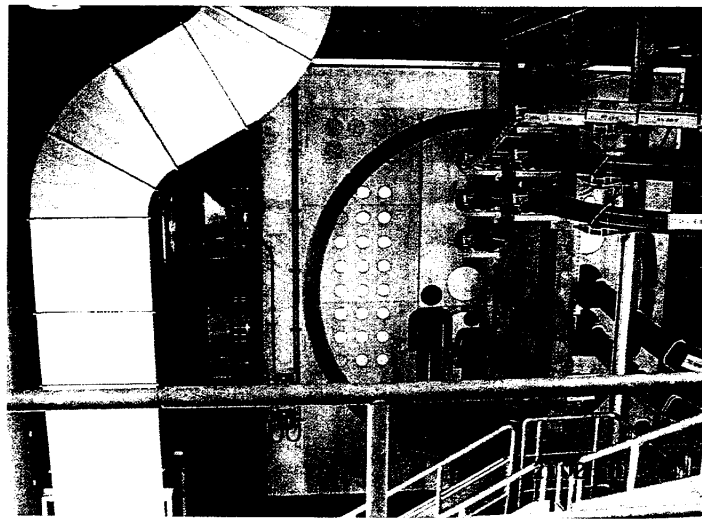


圖 6.56 變電所內潛盾洞道外觀圖

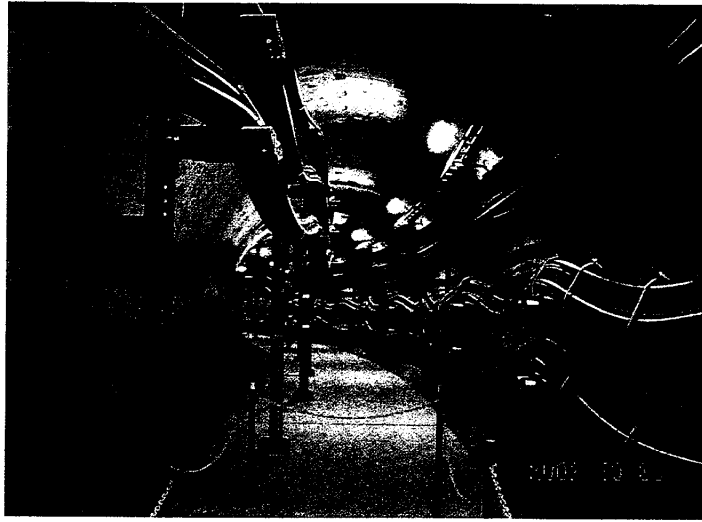


圖 6.57 潛盾洞道剖面圖

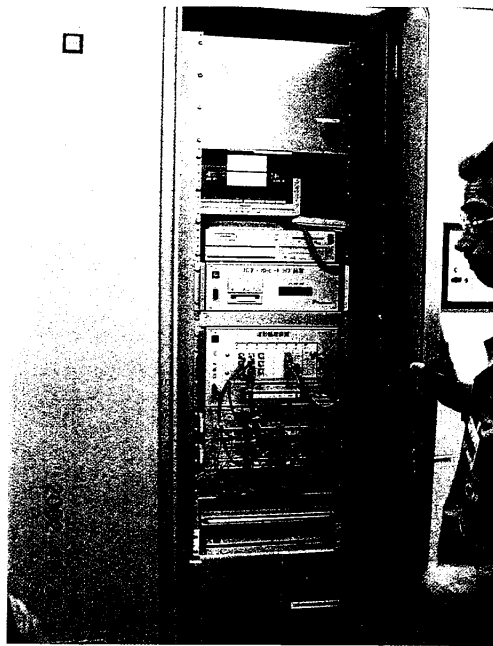


圖 6.58 分散型光纖溫度監測系統光切換器外觀圖



圖 6.59 分散型光纖溫度監測系統處理機及監視器外觀圖

柒、心得與建議

一、心得

配合執行本公司第六輸變電計劃，將興建數條 345KV 地下輸電電纜線路，由於地下電纜線路每一線路均須與架空線之送電容量(3660A)匹配，如何將電纜本身的熱量減少，提高送電容量，及當線路維護人員進入洞道時，如何維持洞道內溫度在人體所能承受的溫度限制，不影響維護工作之進行的前提下，電纜洞道冷卻系統、通風系統及洞道溫度偵測系統就顯得特別重要。這一次承蒙長官的厚愛，得以有機會前往日本實習「深層地下潛盾洞道電纜回線冷卻設計與施工」相關技術，能藉此出國實習機會來比較目前本身從事電纜規劃設計方面的工作執行及思維上與日本電力公司規劃設計人員在輸電地下電纜線路建設上不同的地方，並藉此學習他們的長處與技術，來增進目前台灣輸電地下電纜線路設計人員的設計能力，並藉由從日本所獲取的資料與技術，改善目前地下電纜窒礙難行的窘境，並從另一新思維的角度來看待及規劃輸電地下電纜線路。

日本與台灣都是屬於海島型國家，在風土與民情上也大致相同，由於都市的繁榮及景觀維護的問題，日本近年來在輸電線路的規劃設計上都採取以潛盾方式規劃設計，雖然本項土木工程費用較高，但在

施工時對環境及交通上的衝擊，及對線路維護的便利性、供電可靠度的提高及電力品質的改善，有相當大的助益。由於日本本身地鐵系統非常發達，因此在潛盾土木工程的規劃及施工毫無困難，而且日本各電力公司對於未來系統規劃及地區電力實際使用情況已有明確的評估及預測，可以及時配合當地政府一併規劃施作共同管道，節省成本。並且預先配置冷卻管相關設備及取得冷卻機房用地，初期在系統運轉時由於整個發熱量小，未啟動冷卻水設備，視日後終期系統整個配置完成後再依系統整個運轉情況之需求，逐一選擇啟動洞道冷卻水管設備、冷卻水塔設備及冷凍機設備，以增加輸電電纜線路送電容量。另配合光纖使用、網際網路及個人電腦的普遍化，洞道內監控系統為避免受到任何高電壓或電磁感應的干擾，產生誤動作及異常現象，在洞道的溫度偵測及信號傳輸皆改採以光纖來使用，而且為預防電腦本身當機造成系統無法運作及方便維護人員之檢視，一般在維修辦公室皆採用傳統指示燈、計量計及操作盤與電腦監視系統並存，其優點為在故障發生或洞道內有異常現象產生時，維護人員可藉由傳統指示燈、計量計及操作盤指示，立即在第一時間內做最快速的判斷、緊急處理，而事後可藉由電腦監視系統內所擷取的數據分析，作為事故發生的原因檢討依據，並找出解決方法，讓同一事情不再重複發生。另在此次實習過程中，日本電力公司的同仁表現出來在地下電纜

執著的研究精神，及在施工時對現場環境的維持及工安的落實，實實在在是我們值得自我檢討及學習的地方。

二、建議事項

1. 此次其中參觀變電所出口涵洞工程，在配電電纜線路佈設上，與台灣截然不同(圖 7.1)，他們都是非常整齊的排列(圖 7.2)，不但能有效地使用洞道空間，而且有規律的排列對於電纜的維護及故障排除都有相當大的助益，是值得我們借鏡改進的目標。

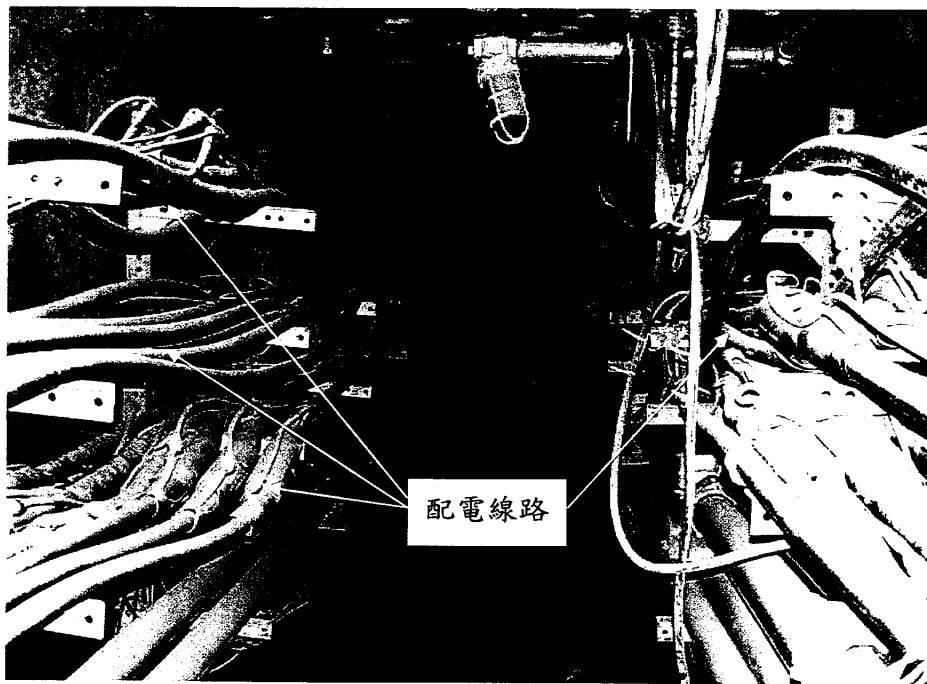


圖 7.1 台灣忠福變電所出口涵洞剖面圖

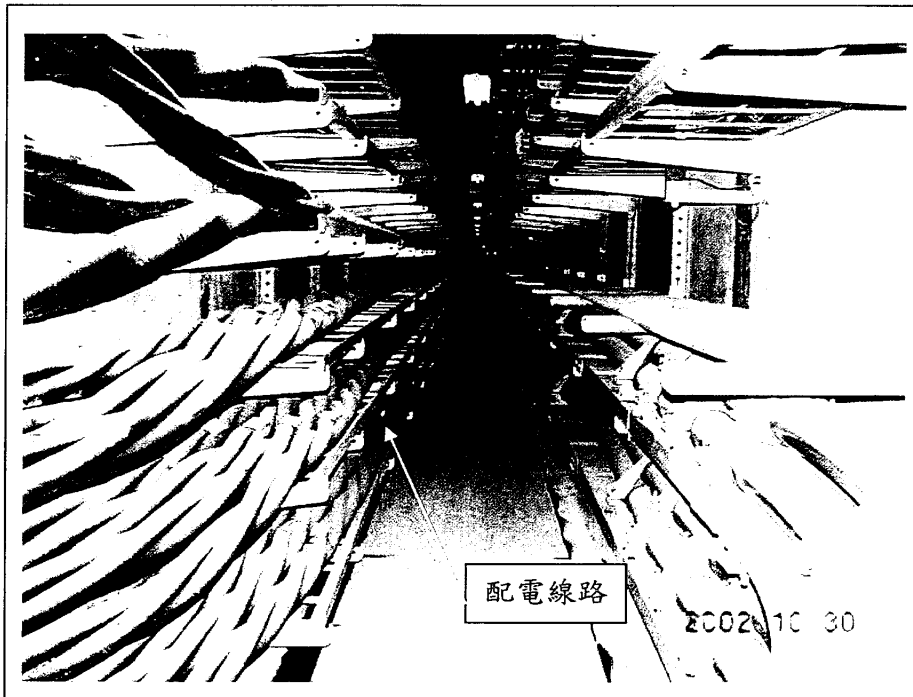


圖 7.2 日本牛島變電所出口涵洞剖面圖

2. 在通風孔(圖 7.3)、逃生口、材料投入口及人孔蓋(圖 7.4)的設置上，日本都能發揮它們的精心巧思將上述設施都能與當地的景觀融為一體，在路上若不特別注意的話，還真的無法辨識出來。



圖 7.3 通風孔外配合景觀設計一例



圖 7.4 人孔蓋配合景觀設計一例

3. 在既設線路傳統管路的改接工程，日本在現場施工時，土木工程部份都能加強改接人孔內的電纜保護(圖 7.5)，除了利用 pvc 管保護電纜之外還施作電纜固定橋(圖 7.6)，避免電纜遭受碰撞，發生工安事故及線路斷電故障情形。



圖 7.5 傳統管路改接工程一例

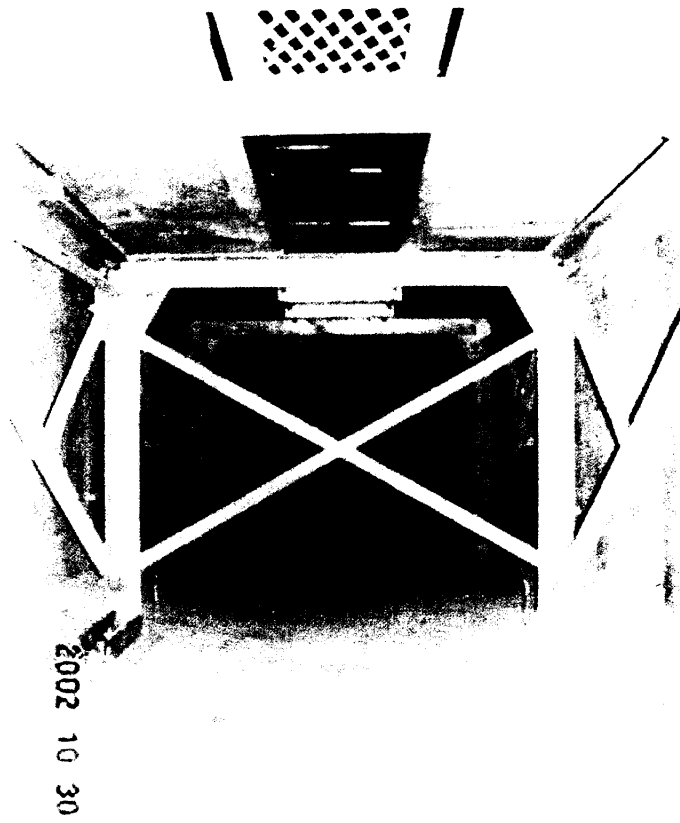


圖 7.6 傳統管路改接工程一例