

行政院及所屬各機關因公出國報告

(出國類別：實習) 九十四年度出國計畫

超高壓地下電纜直井佈設、長尺電纜
特殊延放工法及海底電纜技術

服務機關：臺灣電力公司

服務單位：輸變電工程處北區施工處、嘉南供電區營運處

出國人員：

姓名	職稱	姓名代號	出國計畫
李正芳	課長	739298	94 年度出國計畫第 94 號
洪 瑤	課長	018414	94 年度出國計畫第 34 號

派赴國家：日本

出國期間：94 年 7 月 11 日至 94 年 7 月 18 日

報告日期：94 年 8 月 22 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：超高壓地下電纜直井佈設、長尺電纜特殊延放工法
及海底電纜技術

頁數 54 含附件 是 否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話：臺灣電力公司／陳德隆／23667685

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話：

李正芳	臺灣電力公司	輸變電工程處 北區施工處	課長	02-23227175
洪瑤		嘉南供電區處	課長	06-6563711

出國類別： 1. 考察 2. 進修 3. 研究 4. 實習 5. 其他：開會

出國期間：94 年 7 月 11 日至 94 年 7 月 18 日 出國地區：日本

報告日期：94 年 8 月 22 日

分類號／目

關鍵詞：直井、長尺電纜、關西電力公司、J-Power Systems 公司、海底電纜、
冷卻系統、XLPE、OF

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、日本關西電力公司興建中之北豐中 275KV 線電纜延放與接續工程，此工程包含一座直井(200 公尺深)之電纜佈設及長尺化電纜(1800 公尺)之延放，其工法特殊；又南港火力線使用之冷卻系統，使電纜線路能有效提高送電容量。此次研習除吸取可資參考之寶貴經驗之外，也可為本公司刻正進行之大安 E/S 相關 345KV 電纜線路規劃設計奠下更合理化的基礎，更有助益施工及日後運轉維護工作。
- 二、本公司目前正規劃國內第一條 161KV 海底電纜(台澎間約 55 公里)，藉由本次與日本關西電力公司討論與參訪 J-Power Systems 公司，收集有關工程、運轉上相關之知識及情報並吸收寶貴技術與經驗。

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

目 錄

	頁次
壹、緒論	1
貳、出國緣由	3
參、超高壓地下電纜直井佈設、長尺電纜特殊延放工法	5
一、直井內電纜佈設方式	5
二、直井電纜延放工法	6
三、長尺化電纜	7
四、直井與洞道內電纜佈設工法	8
五、日本關西電力公司及北豐中 275KV 線電纜工程簡介	11
肆、冷卻系統	20
一、管路間接水冷卻系統	21
二、管路直接水冷卻系統	22
三、洞道強制風冷冷卻系統	23
四、洞道內間接水冷卻系統	23
五、洞道內間接水冷卻系統設備	24
六、日本關西電力公司南港火力電纜線路簡介	30
伍、海底電纜	37

一、路徑選定	37
二、調查及施工時程之規劃	37
三、電力系統評估	38
四、海底電纜技術討論	40
五、預防事故發生之對策	42
六、J-Power Systems 公司簡介	46
陸、心得與建議	51
一、心得	51
二、建議	52

壹、緒論

近年來台灣各都市快速發展、人口密集、社會繁榮，都市群聚現象顯著，高樓大廈處處林立，無論工業或民生用電都大幅增加，似有供不應求之趨勢，致輸電系統之供電量及安全性需有加強之必要。為提供質優、穩定、可靠之電力，本公司須於都市負載中心設置變電所因應，興建變電所於都會區就成了必然之趨勢，目前興建變電所皆以屋內型式來規劃設計。

然而輸電系統是電力系統的動脈，其健全與否，直接影響到用戶用電之品質及電力之穩定，用電品質之要求日趨嚴格及民眾對於生活環境、環保觀念的提升，輸電線路也必須順應潮流，儘量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。

本公司第六輸變電計劃，將於台北市興建松湖~大安~古亭~深美 345KV 地下電纜線路，本線路係提供台北市松湖、大安、古亭等新建超高壓變電所需電源，以解決目前供電問題，滿足區域未來發展用電需求，進而充裕區域供電能力及供電可靠度。配合本線路規劃設計，採用深直井、長尺電纜及洞道內間接水冷卻系統之設計、施工等特殊技術。又本公司目前正規劃國內第一條 161KV 海底電纜(台澎間海域段約 55 公里)，其敷設之技術與陸地佈纜方式不同。

現今日本對於超高壓地下電纜直井佈設、長尺電纜之延放工法及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，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，亦能安全地加以監控運轉，已有很多實例與經驗，且已完成數條海底電纜之敷設，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三點：

1. 超高壓地下電纜直井佈設、長尺電纜特殊延放工法。
2. 地下電纜洞道內間接水冷卻系統技術。
3. 海底電纜技術。

貳、出國緣由

本公司目前辦理之「大安變電所相關 345KV 電纜線路規劃設計及監造技術服務工作」，由中華顧問工程司承攬(協力顧問為日本關西電力公司)。94 年 4 月 4 日該工程司依其服務建議書承諾，來函提出赴日本實習深井與長尺電纜特殊延放工法，建議研習內容：

1. 目前正進行之北豐中 275KV 線地下電纜 200M 深直井佈設及 1800M 長之長尺電纜延放與 PJ 接續施工。
2. 運轉中之南港火力電纜線路洞道內間接水冷卻系統。
3. 與關西電力公司討論其所具有之海底電纜相關技術與經驗。

本公司於 91 & 92 年分別完成南科(德國 ABB 製)與中寮(韓國 LG 製)345KV 地下電纜線路，然其品質未如預期，前者事故頻傳，後者仍有爭議尚待處理。後續與超高壓電纜密切相關之變電所工程如龍潭、仙渡、高港、五甲、高雄、大安、古亭及松湖等即將展開，此刻之時機，值得本公司前往研習與借鏡。另本公司目前正規劃國內第一條 161KV 海底輸電電纜(台澎間海域段約 55 公里)，可藉由本次研習，吸取海域與氣候條件類似之日本敷設海底電纜經驗與技術。

參訪之相關技術除對未來地下電纜規劃、設計及施工有助益外、亦有助於日後運轉維護工作。

本次實習為計畫外派員出國，經公司核定移用 94 年度出國計畫第 34 號、第 94 號之預算及名額。

註：原核定出國期間自 94 年 7 月 11 日至 94 年 7 月 18 日，返國當日(7/18)

因海棠颱風侵台，中正機場關閉，延至 94 年 7 月 19 日返國。

參、超高壓地下電纜直井佈設、長尺電纜特殊延放工法

一、直井內電纜佈設方式

為了吸收因傳輸負載變化而引起之熱伸縮，電纜需採用水平蛇形佈設，如圖 3-1。依關西電力公司之經驗，水平蛇形間距為 6 公尺，蛇行幅度約為 1.5 倍電纜完成外徑。為固定電纜，必須每隔半個水平蛇形間距(即 3 公尺)，於蛇行轉折處安裝一組電纜固定座，如圖 3-2 所示。

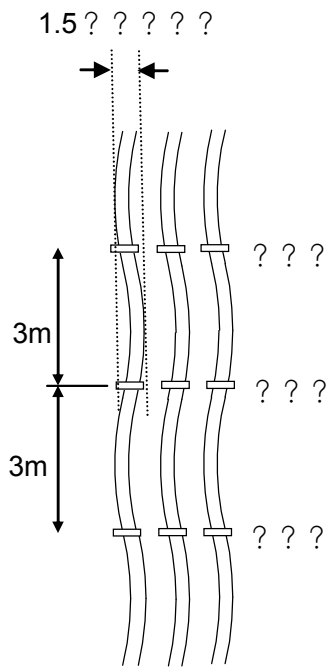


圖 3-1 電纜水平蛇行佈設示意

圖 3-2 使用固定座固定電纜

直井採用單條電纜水平蛇行佈設，必須考慮下列項目：

- 1.應確保電纜允許安全的彎曲半徑。
- 2.應確保安全的維護空間。
- 3.應確保安全的設備及物料進出空間。
- 4.不能阻礙洞道通風換氣通路。

一般而言，由於在超高壓變電所內電纜數量較多，故於直井內電纜配置要考慮上述要求是非常困難的。

二、直井電纜延放工法

深直井電纜延放建議採用特殊之深井延放工法進行，如圖 3-3 所示。

日本關西電力公司已成功完成諸多案例，目前亦正運用於北豐中 275KV 線 200m 深直井，進行 XLPE 1500mm² 之超高壓電纜延放作業中。

項目	A 方案：砌合拖曳工法	B 方案：拖曳機工法
示意圖		
	砌合夾板	拖曳機
概述	<ul style="list-style-type: none"> • 每 2~3 公尺採用砌合夾板固定纜線 • 採主要纜線及導引纜線，以預防電纜偏離 • 電纜由主要絞盤拉起 	<ul style="list-style-type: none"> • 於豎井內每 10~20 公尺利用拖曳機進行電纜拖曳
特點	<ul style="list-style-type: none"> • 運用於深及窄豎井之電纜安裝方式(關西電力研究開發) • 於豎井內裝設許多砌合夾板 • 不需臨時設施 • 熟練之操作絞盤可輕易達成電纜蛇行之要求 	<ul style="list-style-type: none"> • 於豎井內裝設許多拖曳機 • 需要臨時設施固定拖曳機
業績	荒神口支線 154kV 1×2000mm ² ，直井深度:120m 1986 年完成	上本町支線。 154kV 1×1200mm ² ，直井深度:50m 2001 年完成

圖 3-3 深直井之電纜安裝工法示意圖

三、長尺化電纜

使用長尺電纜而不需中間接續匣時，不僅提高可靠度且可降低成本，

其比較參如下表。若每條電纜長度 1500m 時，被套感應電壓約 190V(長度

900m 時，被套感應電壓約 170V)，該數據仍比本公司要求 200V 低，亦在日本勞安法令規定最低電壓值 600V 以內，惟維護時需帶絕緣手套。

長尺案與基準案之比較

	長尺案	基準案
成本	85%	100%
工期	100%	100%
評比	1	2

決定電纜長度另須考慮道路運輸及電纜延放工作井條件，若採電纜長尺化，則需針對路、橋梁重量限制及道路運輸條件進行評估；檢討長尺電纜延放工法之選定，則需再檢討延線機具之搭配、延線場地之配置、延線時監視等具體方法，其運輸案例詳圖 3-4 及圖 3-5。



圖 3-4 長尺電纜施工例

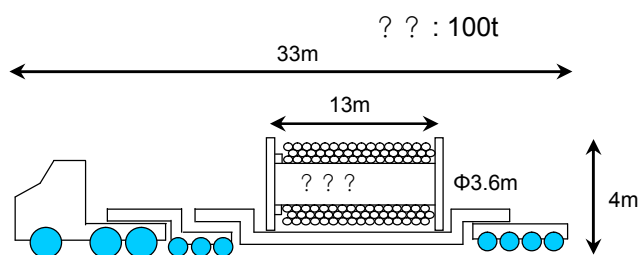


圖 3-5 長尺電纜運送拖車尺寸

四、直井與洞道內電纜佈設工法

(一)延放線機具設備，有拖曳機(Hauling Machine)、電動滾輪機(Motor Roller)及滾輪(Free Roller)，詳圖 3-6 及圖 3-7。

(二)洞道內電纜水平延放工法，有電動滾輪式、傳統延放式及施曳機式，詳圖 3-8 及圖 3-9。

(三)其作業標準，參考圖 3-10。



圖 3-6 延放線機具設備



圖 3-7 拖曳機垂直裝置

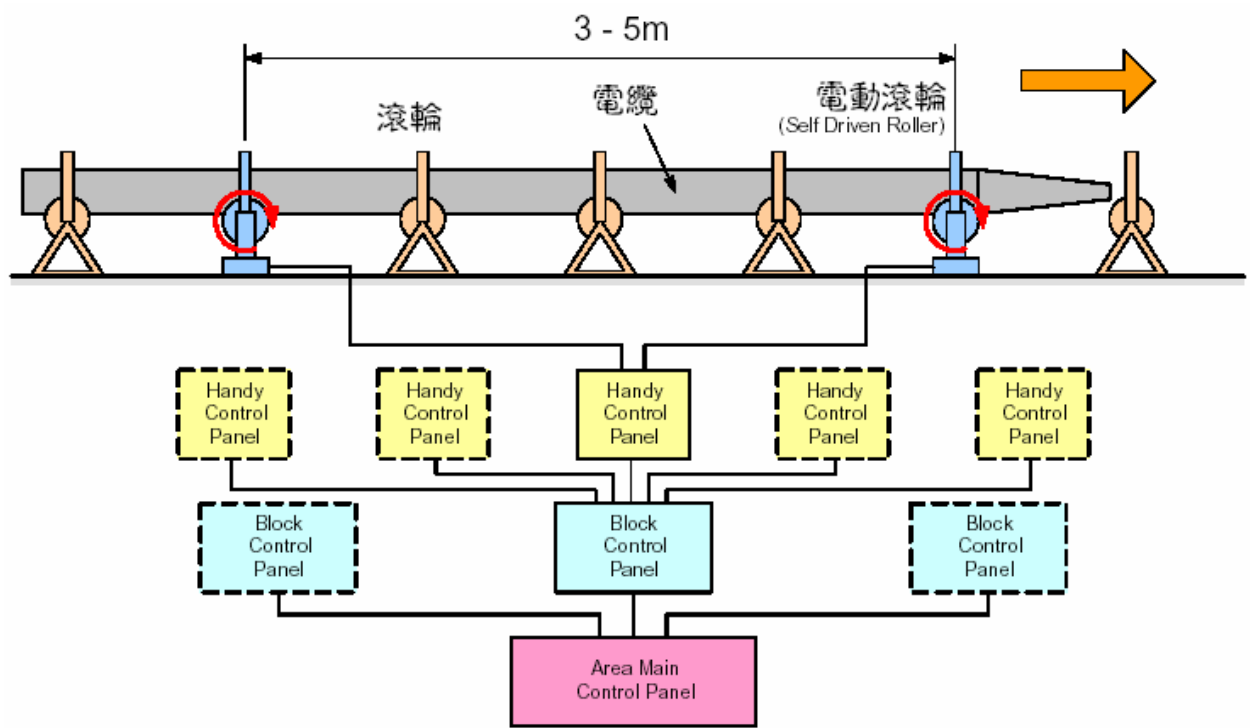


圖 3-8 電動滾輪式

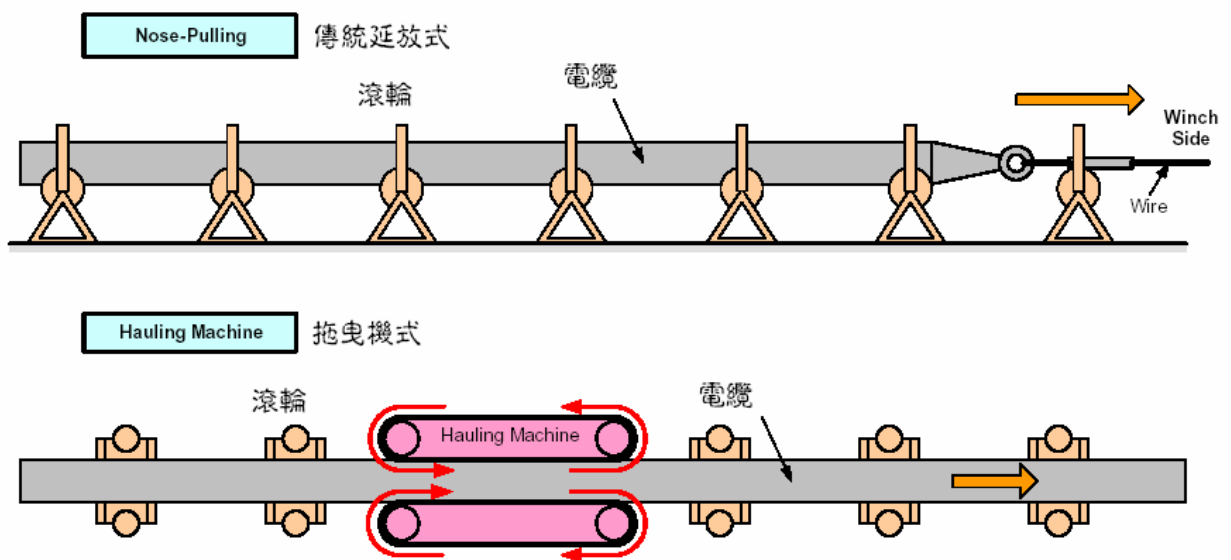


圖 3-9 傳統延放式 & 拖曳機式



圖 3-10 直井與洞道內電纜佈設作業標準

五、日本關西電力公司及北豐中 275KV 線電纜工程簡介

(一)關西電力公司(2004 年 3 月資料)

成立日期：1951/5/1

裝置容量：39770MW

輸變電設備：

架空線路(275KV 以上)亘長：3336 公里

(275KV 未滿)亘長：10906 公里

合計：14242 公里

地下電纜(275KV 以上)亘長： 105 公里

(275KV 未滿)亘長： 3984 公里

合計： 4089 公里

變電所：1533 所

資本額:4893 億日元

售電量:電燈:447 億度 電力:956 億度 合計:1402 億度

營業額:2 兆 3752 億日元

歷史最大負載:33060MW(2001/8/2)

員工人數:22656 人

供電區域:



(二)北豐中 275KV 線電纜工程

1.興工緣由

送電中之西大阪~北豐中 275KV 線原為部份架空、部份電纜，因架空線影響國際文化公園(名為彩都)之開發，因此配合「彩都」開發將架空線下地，採洞道(Mountain tunnel)及共同管道(Common duct)設計、施工，詳圖 3-11，並獲得都市發展局同意興建。

2.工程特色

(1)興建彩都洞道(Mountain tunnel，馬蹄型斷面，寬 6.6m)長約

1.9 公里及直徑 8m × 深 200m 電纜直井一座(本直井號稱世界最深)。

(2)三回線電纜長分別約 5.7KM、5.6KM 及 4.8KM，採長尺化佈

設，每條 XLPE 電纜長度為 1500~1800m (1500mm²)不等，其中 1800m 長之電纜號稱為世界藉由路上運輸最長之超高壓電纜，電纜含電纜軸重約 57.2 噸，陸上運輸距離 32KM(經過橋樑，或穿越等為 65 處)，均利用夜間行駛。

(3)採用 275KV Prefabricated Joint(PJ)詳圖 3-12 及 Prefabricated

Y-branch Joint(YJ)詳圖 3-13。

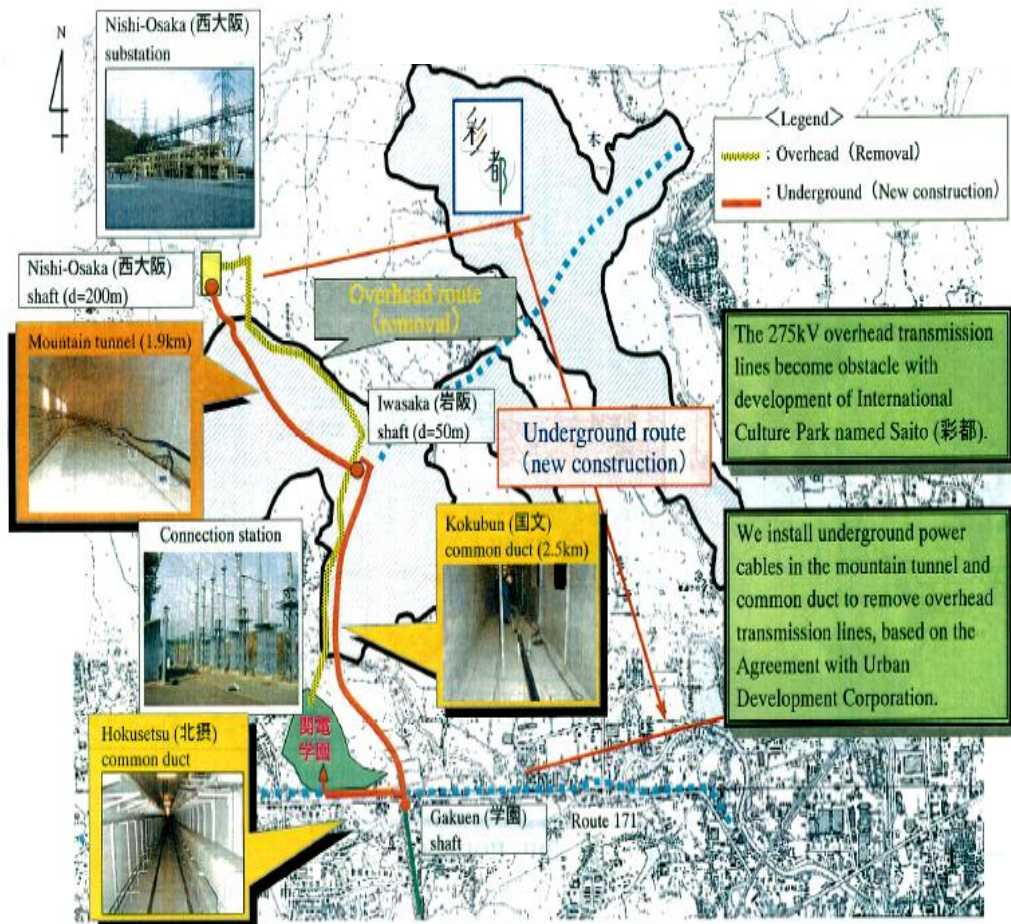


圖 3-11 工程概要



圖 3-12 已完成之 PJ 現品



圖 3-13 Firstly adopted 275kV Y-branch Joint

3.特殊延放工法

(1)放線場地之配置(在岩阪直井側)詳圖 3-14 及圖 3-15。

(2)西大阪變電所內之直井(深 200m)與岩阪間延放線施工法，詳

圖 3-16，其機具設備採用拖曳機(Hauling Machine)、電動滾輪機(Motor roller)、滾輪(Free roller)及絞盤(Winch)。

(3)拖曳機採用電磁剎車系統及於西大阪變電所側之直井頂端用

絞盤，以防止電纜於延放過程中墜落。

(4)延放速度每分鐘約 3 公尺，由較淺之直井處延放，延放速度

較易控制，若由深直井處延放，因電纜自重又垂直，易受重力加速度之關係，造成速度大於每分鐘 3 公尺，而影響電纜本身品質。



圖 3-14 放線場地配置圖



圖 3-15 電纜延放平台

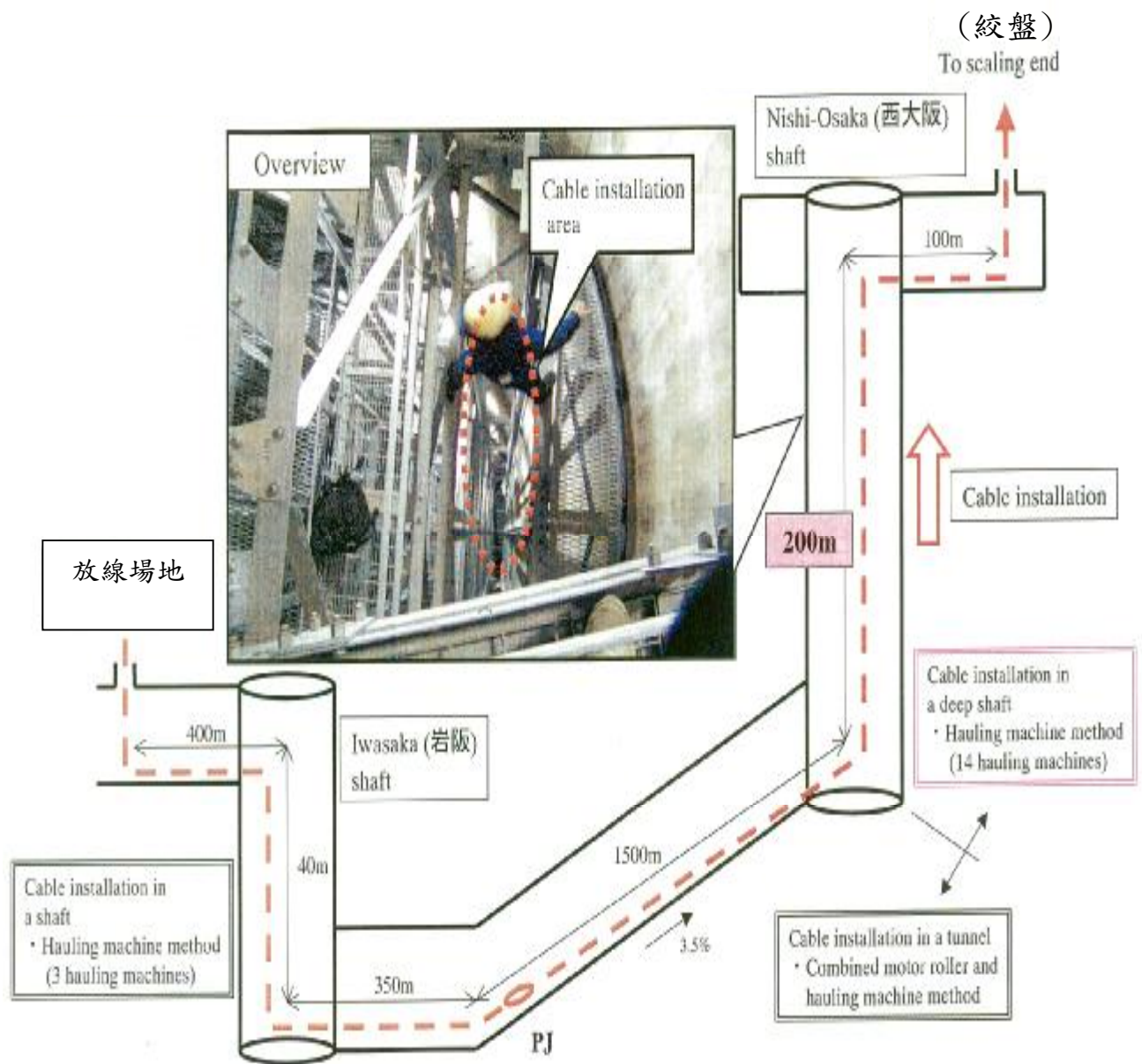


圖 3-16 延放線施工示意圖

(三)配合施工場地，電纜延放之配置，亦有不同佈設方式，請參考圖

3-17~圖 3-19。



Minami Route 3L
 Max. Cable Length :1760m

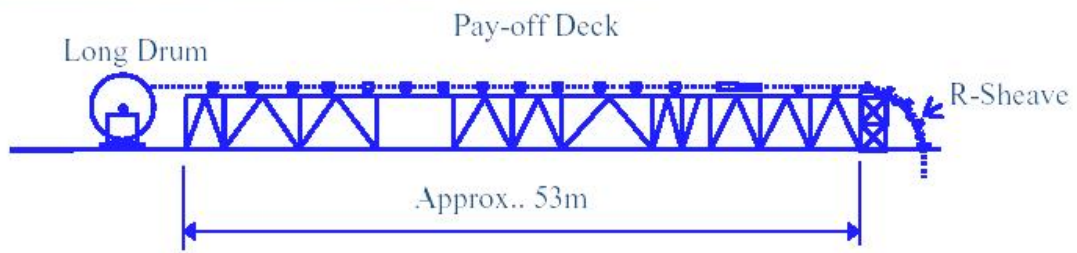


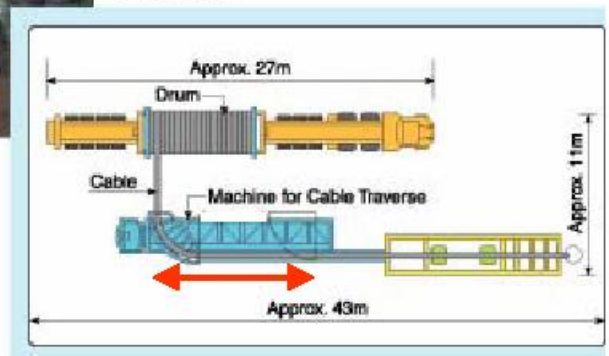
圖 3-17 平台式



▲ Cable installation



▲ R-sheave



Shinkeiyo-Toyosu Line
 Max. Cable Length :1200m

圖 3-18 轉車台式



Nishi Route : 1680m
Meijyo Kakomachi Line : 4600m



Kawagoe-Nishinagoya Line
Max Cable Length : 2440m

圖 3-19 轉盤式

肆、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。

基於電纜長路線佈設及大量的電力傳輸，將大幅降低輸電品質，縱使於冬天或低負荷運轉時電纜洞道應使用強制冷卻系統。

電纜線路傳輸的可靠度，端賴冷卻系統之運作。當冷卻系統故障時需花費很長時間去修復，對電力傳輸影響極大，需採用可靠度高之冷卻系統辦理，而冷卻系統選用考量重點詳下表。

冷卻系統選用重點表

需求		對策
可靠度	確保系統之高可靠度	選擇合適的冷卻方法及設備
	降低冷卻系統故障時之影響程度	將冷卻系統區隔為數個獨立單元及迴路
	增加系統可靠度	提供替代方案供選擇
維護保養 方便性	於保養維護時並不影響電力傳輸	將冷卻系統分為數個獨立的單元及迴路
	確保保養維護及操作簡單方便	採用自動操作冷卻系統
成本	降低運轉成本	冷卻水塔優先操作 主機運轉效能提昇 尖峰負載轉移
	降低初期投資成本	依實際負載增加情形漸次擴充冷卻設備

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，較常用之冷卻系統效益評估詳下表，其冷卻方式大致可分下列四種
 型式。

各種冷卻系統效益評估表

冷卻方式	送電容量增加率	冷卻區間長(實例)	圖例
管路間接水冷卻系統	1.2~2.0 倍	600~8900m	圖 4-1~圖 4-3
管路直接水冷卻系統	2.0~2.5 倍	3700m	圖 4-4~圖 4-5
洞道強制風冷冷卻系統	1.2~1.3 倍	50~1333m	圖 4-6
洞道內間接水冷卻系統	1.2~3.3 倍	1100~3400m	圖 4-7~圖 4-9

一、管路間接水冷卻系統

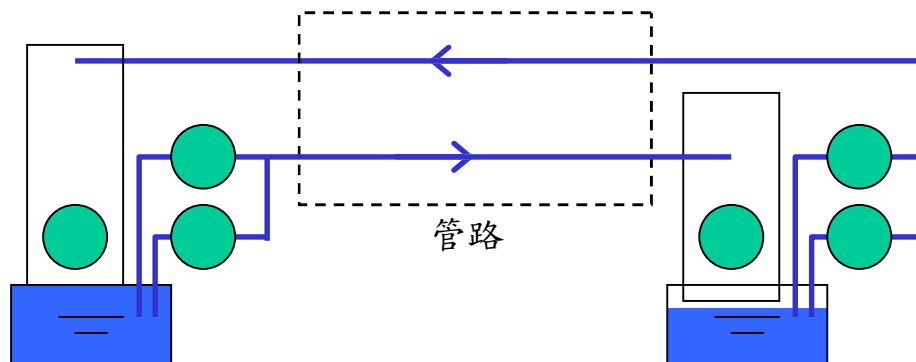


圖 4-1 管路間接冷卻水迴路系統示意圖

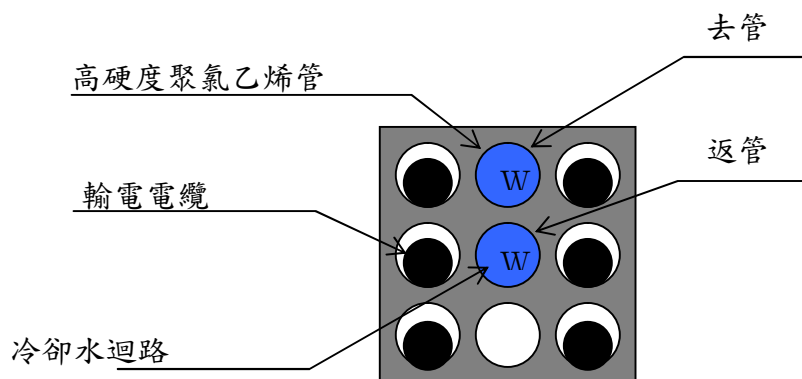


圖 4-2 管路剖面圖



圖 4-3 人孔內部示意圖

二、管路直接水冷卻系統

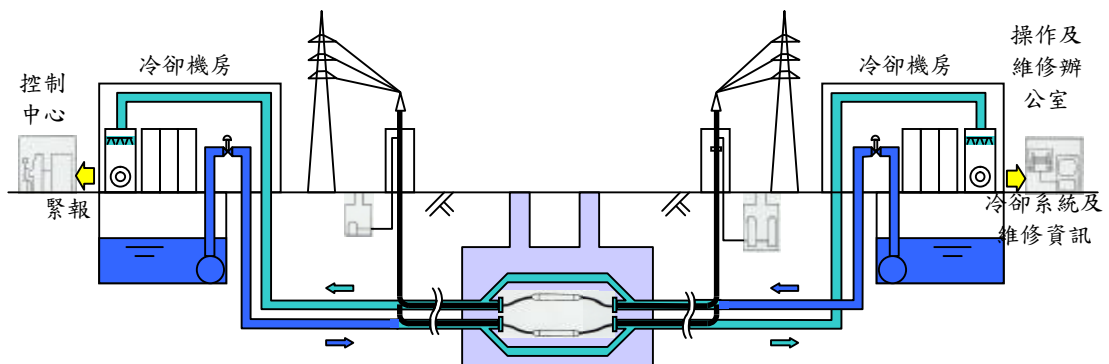


圖 4-4 管路直接冷卻水迴路系統示意圖

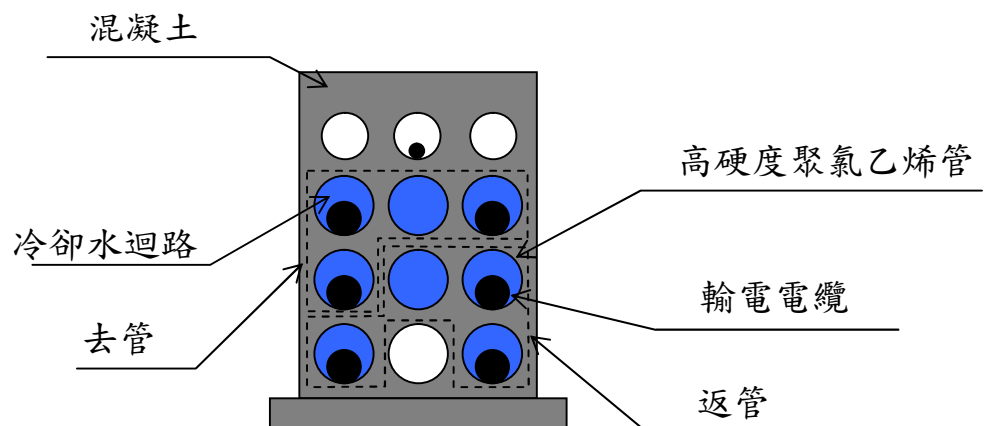


圖 4-5 管路剖面圖

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。

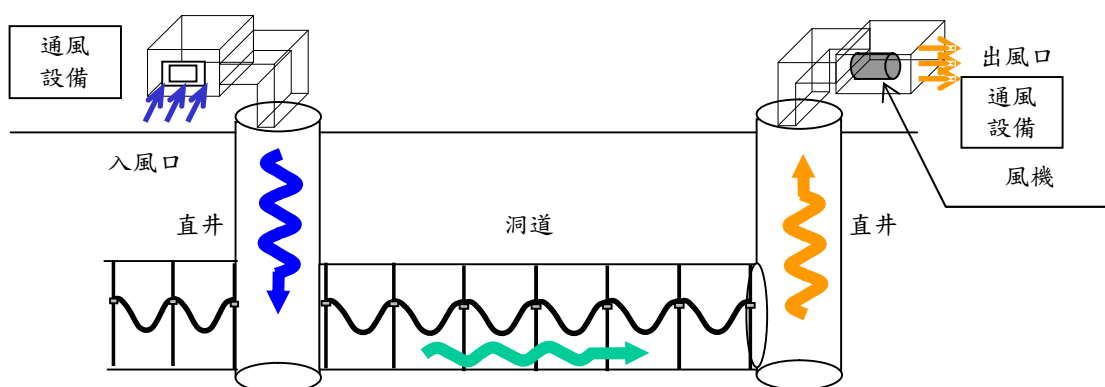


圖 4-6 洞道強制風冷冷卻系統概要圖

四、洞道內間接水冷卻系統

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，似乎無法有足夠的土地可供施作風機室及通風孔，因此在無法取得風機室及通風孔用地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。

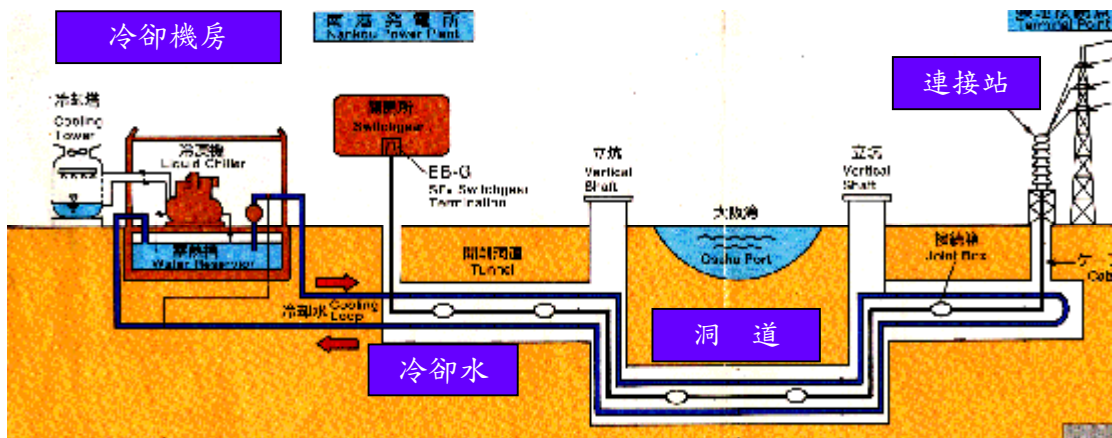


圖 4-7 洞道內間接冷卻水迴路系統示意圖

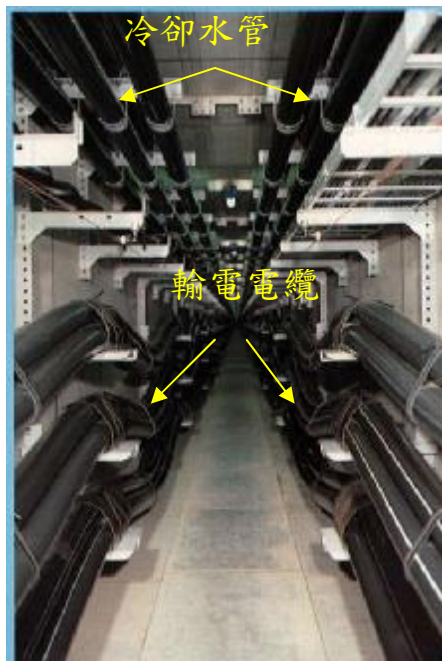


圖 4-8 洞道剖面圖



圖 4-9 冷卻機房示意圖

五、洞道內間接水冷卻系統設備

洞道內間接水冷卻系統包含冷卻機房及循環水系統。

(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 4-10 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。連續操作冷卻水塔時，部份冷卻水塔的水量會散失，因此必須補充冷卻水量。



圖 4-11 密閉式冷卻水塔

(二)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

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 4-12 所示。

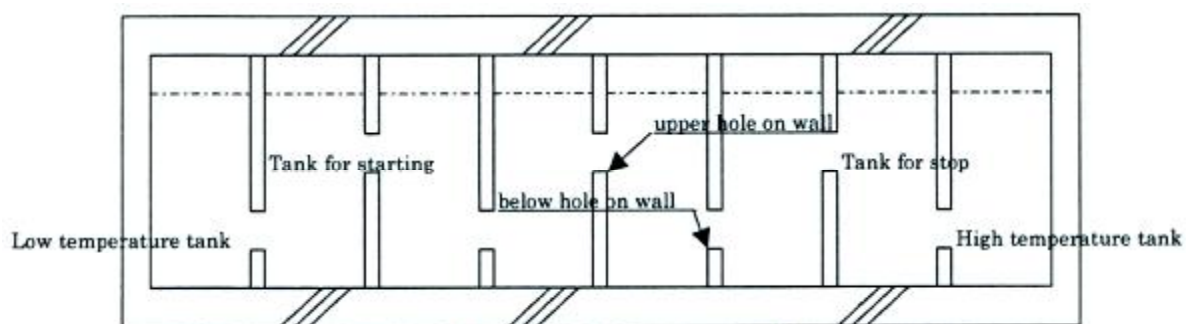


圖 4-12 儲冰水槽示意圖

2. 泵浦

泵浦通常分為陸上型泵浦與沉水式泵浦，基於耐久性與可靠性的考量，通常使用陸上型泵浦較多。



圖 4-13 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。

(1)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($0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$)的穩定，及對熱效率的提高等等的優點，詳圖 4-14。

(2)洞道垂直部份

在垂直部份，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，詳圖 4-15。



圖 4-14 聚乙烯(PE)冷卻水管



圖 4-15 不鏽鋼冷卻水管



圖 4-16 不鏽鋼冷卻水管接聚乙烯(PE)冷卻水管示意圖

六、日本關西電力公司南港火力電纜線路簡介

(一)線路概要

南港火力發電廠至敷津變電所(三回線)，詳圖 4-17。

- 電壓等級：154KV
- 線路長度 6.8KM：電纜線路長度 3.4KM(架空線長 3.4KM)
- 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：洞道內採用間接水冷卻系統

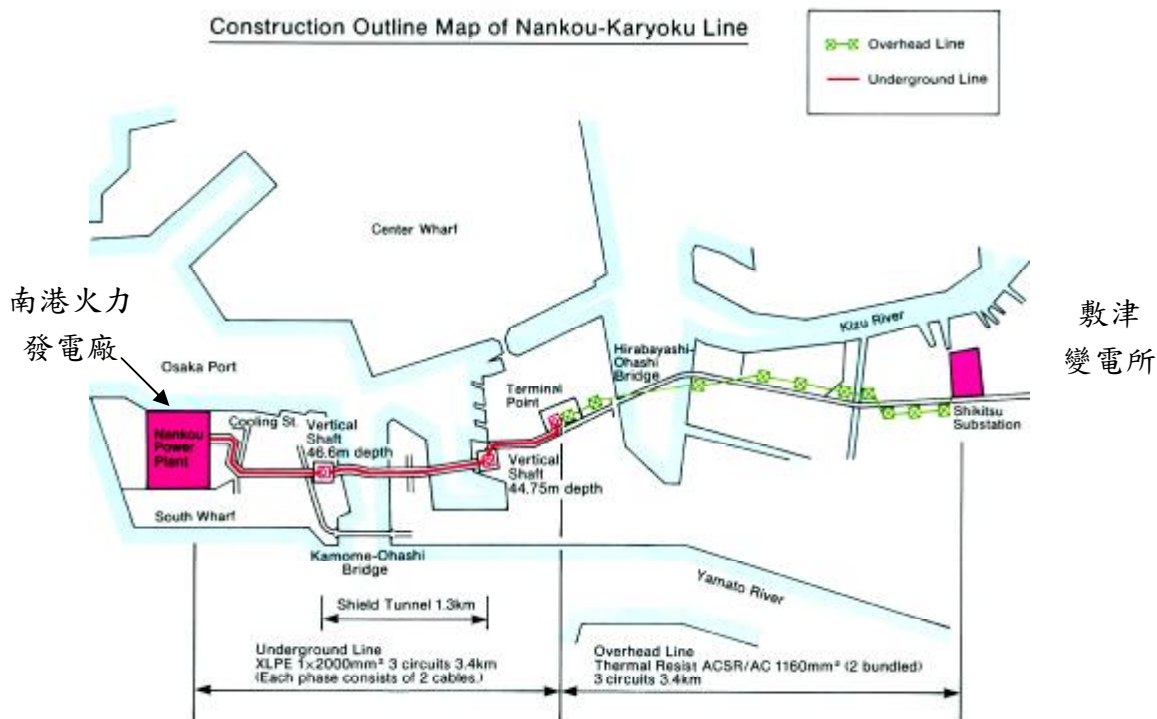


圖 4-17 線路概要圖

(二)洞道工程遇地震、地盤下陷之對策實施

- 1.本線路自南港火力發電廠至發進井間(A區)為明挖式涵洞，土層係於昭和 40~50 年間，以山砂等土砂填埋造地而成；到達井至連接站間(B區)亦為明挖式涵洞，土層係於昭和 30~40 年間，以浚渫土砂填埋造地而成。
- 2.在此填埋區施設涵洞與直井，考慮地震或地盤下陷時，所產生之變位，於兩結構間採用免震構造(柔構造)設計，其土質縱斷圖及特殊撓性接續模型，詳圖 4-18~圖 4-20。

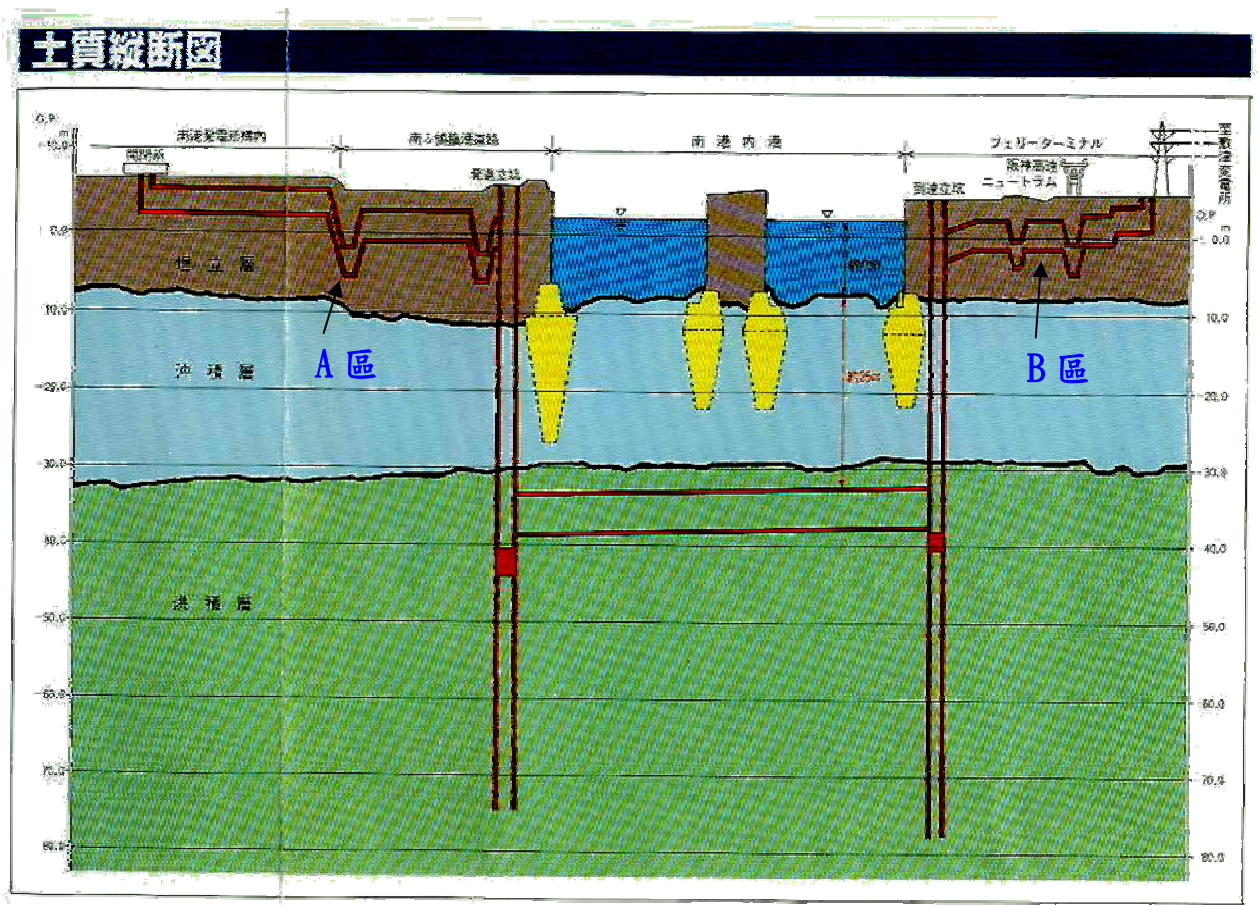


圖 4-18 土質縱斷圖



圖 4-19 免震構造模型



圖 4-20 撓性接續模型

(三)洞道內間接水冷卻系統

- 1.本冷卻系統於 1995 年完成，係日本電力公司中最早採用洞道內間接水冷卻之電纜線路，相關設備詳圖 4-21~圖 4-26。
- 2.洞道內裝設火災避難指示設備，該指示設備有紅、綠指示燈及測試按鈕，洞道內發生火災時，控制器將依火災位置及逃生口位置，控制火災避難指示設備之指示燈，紅燈亮表示人員應反方向逃生，綠燈亮則表示人員應往前逃生。本指引控制構想甚佳，可迅速正確指引人員逃生，避免誤入火場，如圖 4-27 所示。



圖 4-21 冷卻機房外觀圖



圖 4-22 通風風機室及豎井維修進出口外觀圖



圖 4-23 洞道內及冷卻機房冷卻系統電腦監控系統



圖 4-24 洞道內通風區段分隔用之閘門(一)



圖 4-25 洞道內通風區段分隔用之閘門(二)

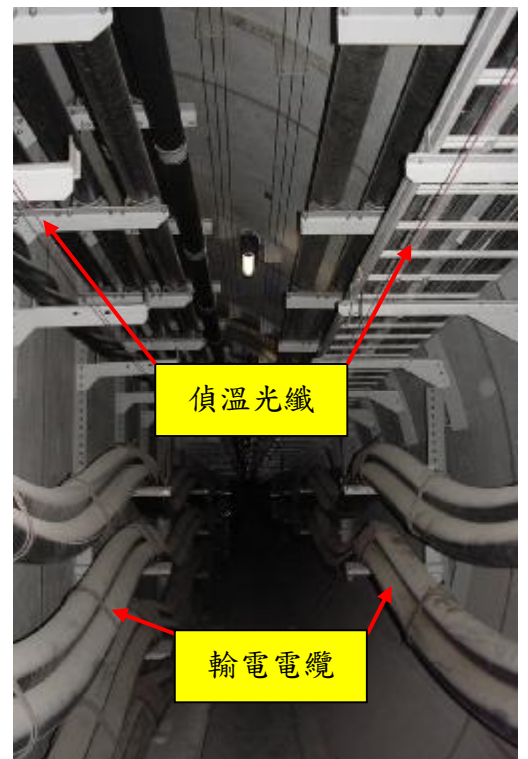


圖 4-26 洞道剖面圖

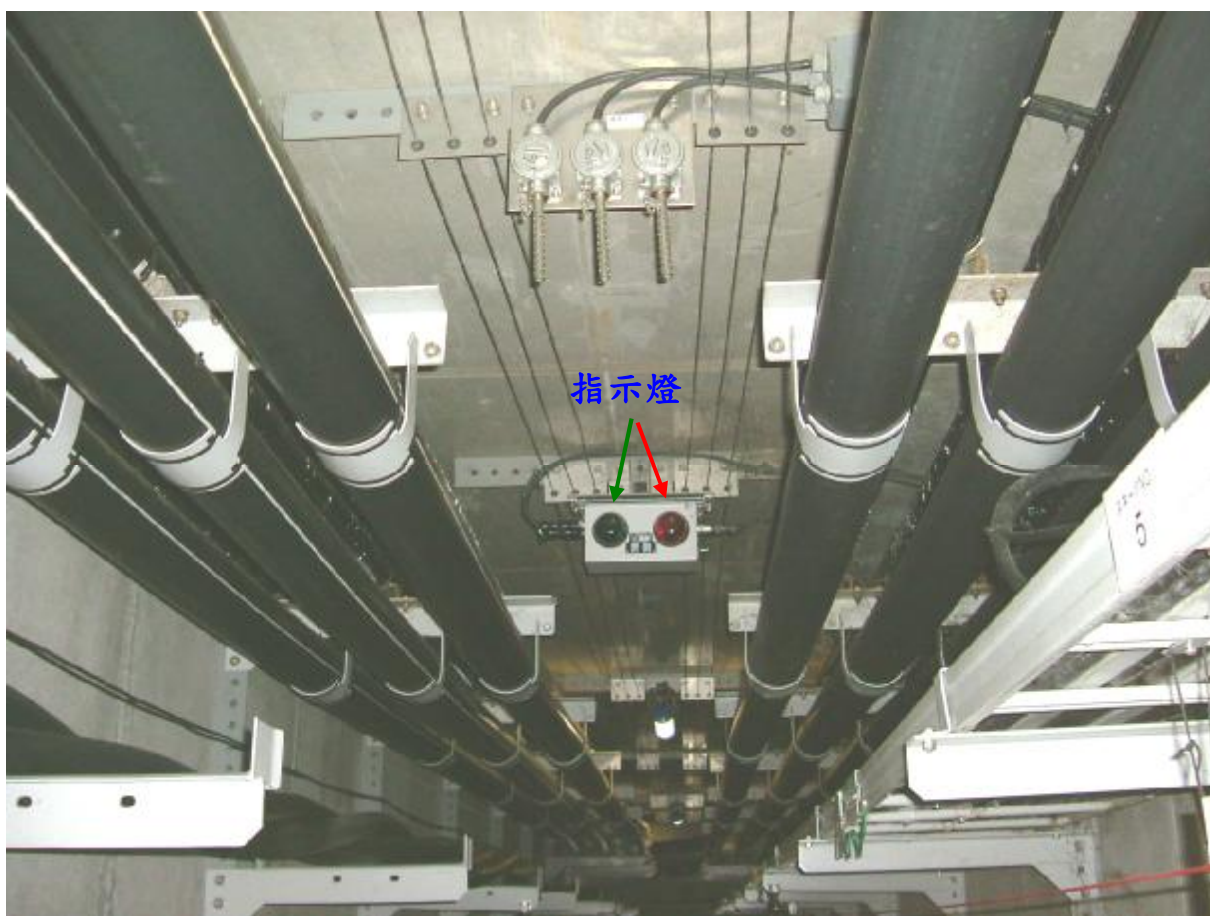


圖 4-27 火災避難指示設備

伍、海底電纜

一、路徑選定

海纜路徑規劃原則應以路徑最短、避免經過岩石及坡度陡峭之海床、避開漁船作業頻繁之漁場及船舶之航道為主。

(一)上岸點之選定條件：

- 1.平坦之砂洲→佈設埋設較為容易（施工性）
- 2.上岸點附近既有發電廠及變電所用地有效利用→設備協調性
- 3.不受法規之限制點→實現性

(二)海底電纜路線之選定條件如下：

- 1.與既有海底電纜無交叉→施工容易（施工性）
- 2.無岩礁層，砂泥層連續海域→埋設容易（施工性）
- 3.海底面平坦及安定→佈設埋設容易（施工性）
- 4.水深較淺處→施工容易（維護性、施工性）
- 5.潮流流速小→操船容易（施工性）
- 6.海上氣象安定→確保施工期間容易（安全性）
- 7.無大障礙物（漁礁、沈船）→線路自由度（施工性）

二、調查及施工時程之規劃

由於海洋氣候常受季風及洋流等因素影響，海纜工程之施工及調查工

作無法在季風或洋流強勁等惡劣氣象之季節進行，故除海纜之製造及運輸等因素需列入時程考量外，天候的因素亦須加以考慮，以日本及台灣等東亞地區而言，通常4~9月為最適合海上作業之季節，相關工作宜儘量配合此一時段進行，以免錯過適當時機。

三、電力系統評估

(一) DC/AC 系統之比較方式

電力傳輸方式可分為 AC、DC 二種。世界上的海底電纜傳輸，其容量及長度與 AC、DC 傳輸系統之關係詳如圖 5-1 所示。

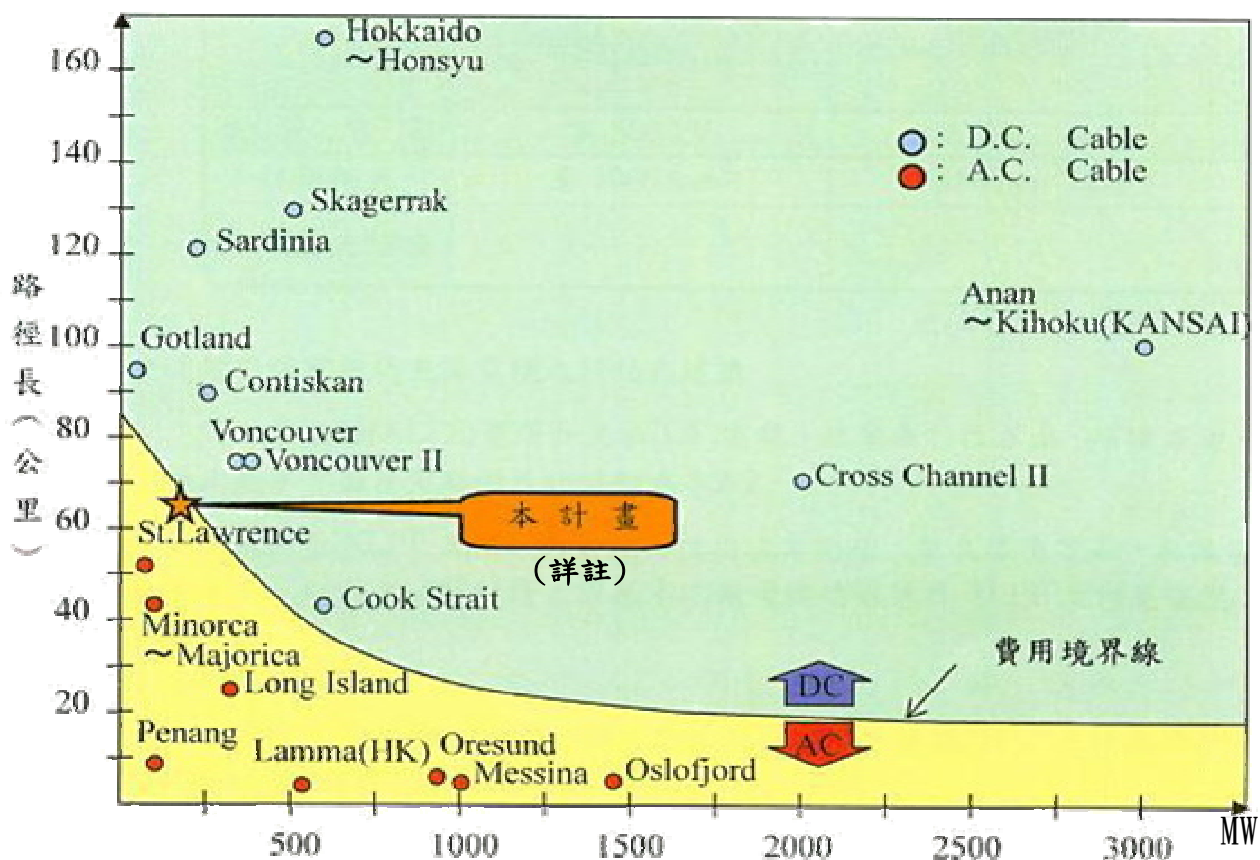


圖 5-1 世界海底電纜輸電線傳輸容量與線路長度關係圖

註：本計畫係指台灣~澎湖 161KV 輸電線路總長約 64.6 公里，其中包括海域段 55 公里，陸域段 9.6 公里。其中陸域在台灣端有 5.7 公里，澎湖端有 3.9 公里。依經濟性考量，本計畫在 161KV 64.6 公里及 200MW 之需求條件下，宜採 AC 方式傳輸電力。

(二)交連聚乙烯(XLPE)電纜與充油(OF)電纜之評估

就電氣特性、環境、維護、成本等重點項目評估如下表。

項目 \ 電纜種類		XLPE 電纜	OF 電纜
電纜斷面圖			
海底電纜(交流)使用實績		近代產品, 累計實績目前較 OF 為少	多
電氣特性	使用電壓 (161 kV)	包含工廠接頭(FJ), 電氣性能穩定	同左
	送電容量 (200 MW)	可符合	可符合
	信賴性	金屬被覆及電纜芯完全防水	加壓絕緣油不浸水
	長距化之對策 (55 km)	電纜以同徑之 FJ 接頭處理	同左
環境方面	外傷事故時	無污染	洩漏油污染環境較大
維護性		不需維修	需作幫浦成套設備之油壓管理
電纜成本		100 (基礎)	102
建議優先方案		1	2

海底 XLPE 電纜與 OF 電纜評估比較表

四、海底電纜技術討論

(一)西神戶野島 33KV、22KV、77KV 線(1944~1999)

關西電力公司於 1944 年起，以當時領先之技術至 1999 年止陸續完成西神戶野島 33KV、22KV、77KV 共 6 回線海底電纜，其情形：

- 1.橫越明石海峽佈設，除靠近海岸處外，海纜未埋設。
- 2.海峽寬約 4KM，最大水深 110M，最大潮流速度 4.5M/SEC。
- 3.海峽每日約有 5000 艘船舶航行。
- 4.因遭受船舶違法拋錨致海纜損傷，特別於 1975 年及 1982 年分別修護 77KV 線海纜。
- 5.於 1999 年移除本 6 回線海纜，改附掛於明石海峽大橋。
- 6.針對本案例該公司研討出相關技術：
 - (1)決定適當埋深，以確保海纜。
 - (2)選擇適當路徑及決定電纜佈設區間。
 - (3)決定電纜佈設方法。
 - (4)正確、快速之事故點判定及修護。

(二)維護原則

電纜埋設於海底，其埋設深度適當，可預防船錨或漁船拖網之損傷，一般而言可免巡視工作，海底電纜之維護與地下電纜大致相同，本次參訪日本關西電力公司，對海底電纜維護原則如下：

- 1.每 6 個月定期巡視一次，其巡視及點檢的內容包括：岸邊路徑附近的地形有無變化，電纜、接續箱之電纜的伸縮量、偏移量之有無。又颱風來襲時，登陸附近之防護板有無露出之確認。
- 2.關西電力公司亦有使用 OF 電纜，3 個月確認一次油量及油壓，一年點檢一次給油裝置及更換零件(2 年一次採油作氣體分析)。
- 3.維護保養支援設備及消耗品之更新(如：測溫裝置之發光裝置等組件引起之異常)。
- 4.變電所內維護支援系統，對導體溫度，油量、油壓資料之監視，每週一次資料判斷。陸上電纜，則每 6 年一次作電纜及接續箱外觀檢查，點檢電纜偏移(OFFSET)是否異常。



圖 5-2 已製造完成海底電纜

(三)海底電纜之檢驗

整條海底電纜製造完成後，由於其電容量非常大，充電電流高達數百安培，遠超過一般 AC 耐壓設備容量，故海底電纜布設前後皆無法再實施 AC 耐壓試驗及部分放電等試驗來確認電纜品質，僅能實施絕緣電阻量測等次要試驗項目，所以每一段電纜於外被完成後加鋼線鎧裝前，即須實施 AC 耐壓、部份放電試驗等重要試驗以確認電纜之電氣特性及品質。

五、預防事故發生之對策

(一)電纜工程品質管理架構

關西電力公司從計劃階段到工程階段，於電纜、附屬器材製造廠側及電力施工側進行雙重檢核，將不良情形發生之主要原因於上一個過程即予排除，並採用全面品質控制系統(Total Quality Control System)，將電氣事故發生防範於未然，詳參圖 5-3。

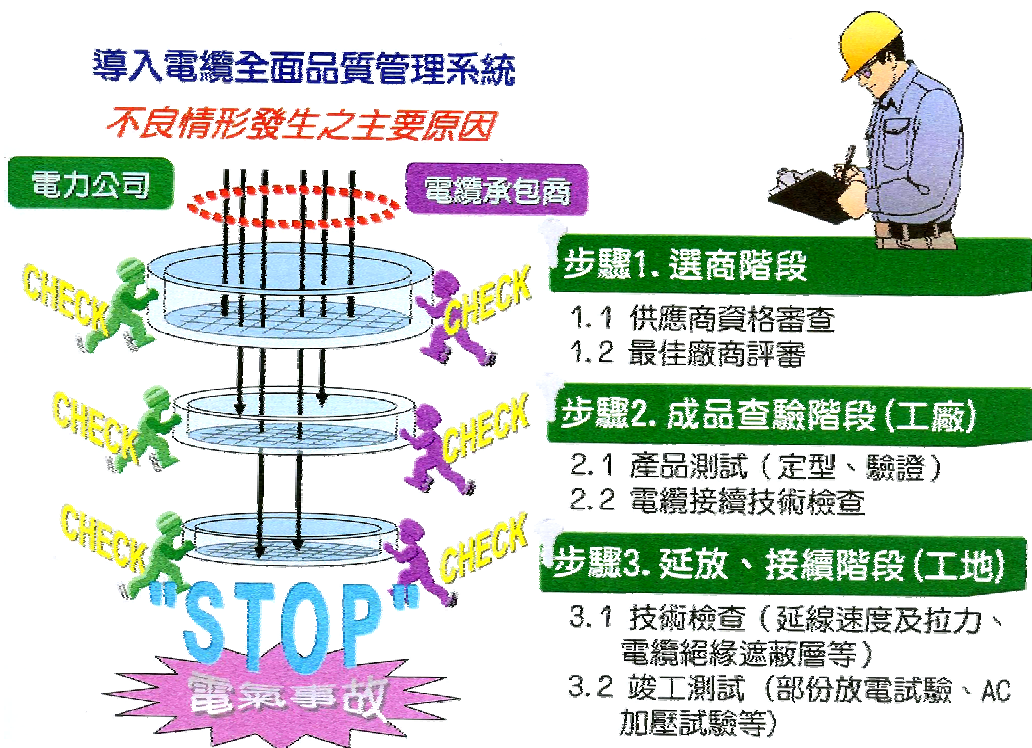


圖 5-3 全面品質管理原系統之基本概念

(二)電纜事故預防對策

1.電纜事故分析及因應對策

為防範 XLPE 電纜於商轉後發生事故，必須對電纜及相關接續器材從產製到安裝過程有可能發生之缺失預作防範。造成電纜事故原因，綜合研析可分為以下三部分：

- (1)材料—電纜與器材、裝置材料等
- (2)施工—施工技術、品質、人員、設備工具等
- (3)其它—不可抗拒天然因素等

電纜線路事故較常發生之原因分析如表所示。依據事故可能發生之原因初步研擬因應對策如表所示。

XLPE 電纜線路事故原因分析

事故類別	可能原因	分析
<ul style="list-style-type: none"> ●電纜送電異常或擊穿 ●電纜接續匣異常或擊穿 ●電纜終端匣異常或擊穿 	A. 電纜及器材	<ul style="list-style-type: none"> ●電力電纜品質異常造成耐壓不足導致事故。 (如芯線押出有氣孔、雜質或異物存在)，加入系統長時間運轉後使絕緣功能劣化形成事故。 ●電纜接續匣、終端匣或裝置配件等材料品質異常(如尺寸、外觀不良等)造成事故。 ●電纜被覆保護裝置材料不良(如CCPU劣化)或防水功能不良導致事故。 ●接地電纜品質異常無法發揮有效接地功能造成事故。
	B. 施工	<ul style="list-style-type: none"> ●延線及接續施工人員技術不純熟。 ●無依施工相關標準作業規定(如文件、圖面)執行。 ●無依相關規定使用適當之工具及設備。 ●無落實施工自主檢查相關作業。 ●接續或終端作業時原廠技師無落實監督及指導之責。
	C. 測試	<ul style="list-style-type: none"> ●無依相關施工測試規定落實檢驗。 ●現有測試項目可能不足。
	D. 其它	<ul style="list-style-type: none"> ●不可抗拒之天然因素破壞(如雷擊、火災、水災、地震等。) ●系統與線路保護協調失效。

XLPE 電纜線路事故預防因應對策

部 位	預 防 策 略
A. 電纜及器材	<ul style="list-style-type: none"> ●落實電纜器材產製及試驗之各項查證工作。 ●經甲方認可之獨立試驗室試驗認證合格證明及測試報告。
B. 施工	<ul style="list-style-type: none"> ●督促施工廠商聘用具施工經驗且技術純熟之延線及接續施工人員。 ●加強施工人員作業品質觀念。 ●使用標準之施工工具及設備。 ●監造工程師會同甲方不定期督導施工廠商自主檢查作業。 ●接續或終端作業原廠技師須全程監督與指導並錄影存證。 ●建立並落實品質異常處理機制。
C. 測試	<ul style="list-style-type: none"> ●依 161KV 電纜器材規範 TSCD-165-02(最新版)規定落實相關檢驗。 ●電纜溫度偵測監視系統，可偵測電纜送電中溫度，以防過熱影響絕緣壽命。
D. 其它	<ul style="list-style-type: none"> ●系統規劃設計時需考量不可抗拒之天然因素破壞防範並加裝線路運轉使用狀況監控系統。 ●加強系統與線路保護協調設計，如加設差動電驛保護系統。 ●線路安全維護管理機制建立。 ●事故點偵測定位系統，可迅速找出故障點並速維修以防事故擴大。

六、J-Power Systems 公司簡介

(一)創立日期：2001 年 7 月

資 本 額：US\$ 3,500 萬

年營業額：US\$ 5.0 億

持股比例：日立電纜公司 50%

住友電工公司 50%

聘用人員：約 900 人

(二)輸電海底電纜之製造

- 1.輸電海底電纜之製造與地下電纜並無太大差異，其絕緣特性及電氣性能仍有賴三層押出（內半導體、絕緣體、外半導體）等關鍵製程之生產條件控制及品管檢測，而其最大差異則在於其外被多了鋼線鎧裝以增強其機械特性俾憑對抗海洋中惡劣之外在環境。
- 2.大阪工廠之三層押出採用先進的垂直式連續加硫（VVCV, Vertical Continuous Vulcanizer）製造技術；此一製造技術具有生產效率高、品質穩定及生產條件易於控制等優點，由於其採垂直方式三層押出，不似國內電纜廠採用之懸垂式連續加硫（CCV, Catenary Continuous Vulcanizer）製造，電纜三層押出後受地心引力影響，較易發生偏心現象，品質較難控制。而它最大的缺

點則是此一製造方式必須配合製造設備興建高塔，初期投資較大，以該公司大阪工廠為例，裝置 VCV 製造設備之大樓為一地上 60 公尺，地下 65 公尺之巍峨建築，公司必須達一定生產製造規模，才能投下重金投資此一設備，詳圖 5-4 及圖 5-5。

Vertical Continuous Vulcanizer (VCV)

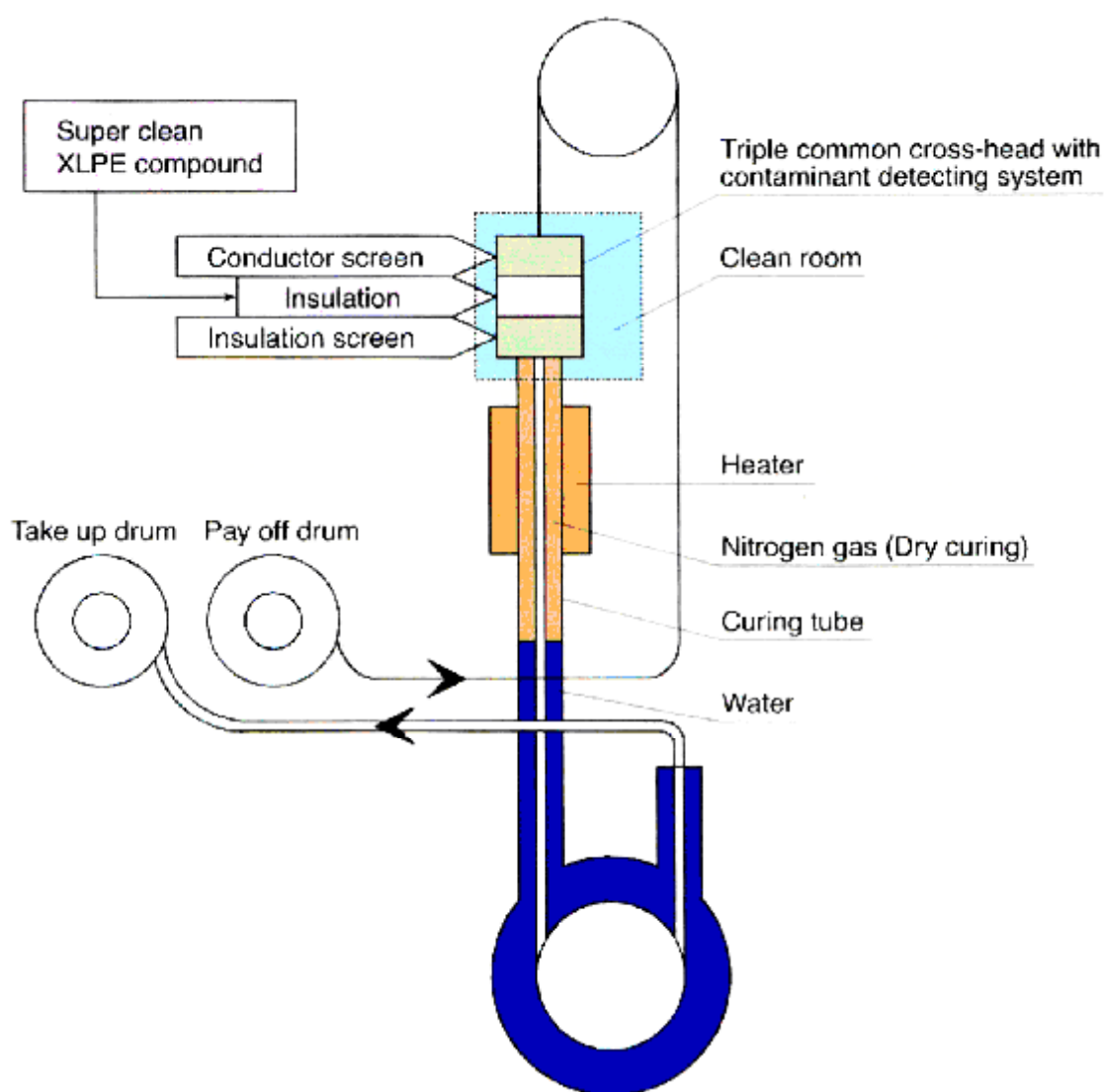


圖 5-4 垂直式連續加硫製造方式示意圖



圖 5-5 垂直式連續加硫高塔

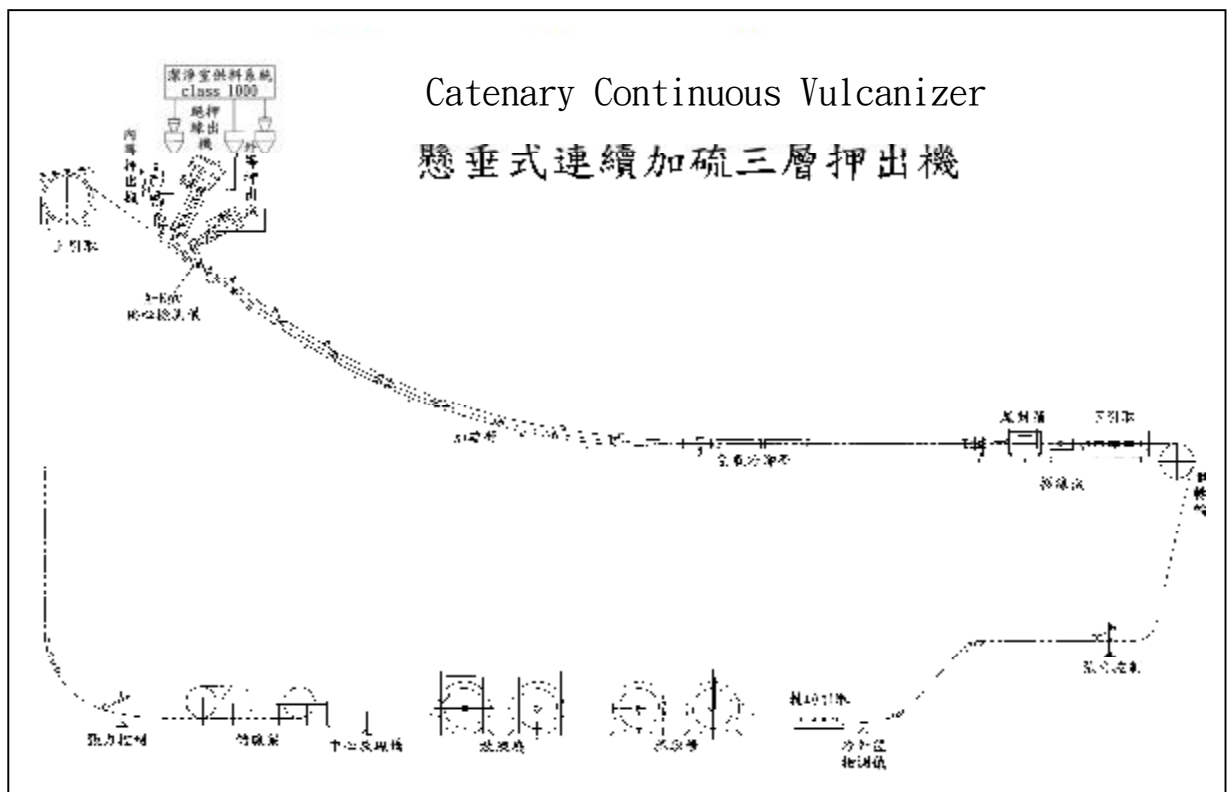


圖 5-6 國內採用之懸垂式連續加硫製造方式示意圖

- 3.此外為了避免絕緣體內含雜質影響電纜絕緣特性，絕緣體及內、外半導體之進料係於 10,000 級之無塵室內進行，以確保原料不受污染，此與國內之電纜廠家並無太大差異。
- 4.輸電海底電纜與地下電纜兩者之前段製程大致相同，惟因海底電纜外被須加鋼線鎧裝，其後段製程則與地下電纜截然不同。地下電纜係將每一段長電纜製造完成後運送至工地再行接續處理，而海底電纜則必須於外被押出完成後，立即在工廠逐段以特殊工法接續，接續處之外徑幾乎與電纜外徑完全相同，然後進行鋼線鎧裝之製程，完成鎧裝後直接輸送至施工運輸船之電纜捲筒上，直至整條海底電纜製造完成為止。
- 5.海底電纜製造完後即藉由廠區內的輸送軌道運送至港口邊的海纜運輸船裝載，準備開往現場佈設施工，所以一般海底電纜製造工廠皆興建於海港或運河邊，以利裝載運輸，詳圖 5-7。



圖 5-7 海纜鎧裝完成後直接輸送至運輸船



圖 5-8 高壓耐壓試驗設備

陸、心得與建議

一、心得

配合本公司第六輸變電計劃執行，將於台北市興建松湖~大安~古亭~深美 345KV 地下電纜線路，本線路係提供台北市松湖、大安、古亭等新建超高壓變電所所需電源，以解決目前供電問題，滿足區域未來發展用電需求，進而充裕區域供電能力及供電可靠度，提供質優、穩定、可靠之電力。配合本線路規劃設計，採用深直井、長尺電纜及洞道內間接水冷卻系統之設計、施工等特殊技術。長尺電纜之運輸、現場配置、佈設、延放工法及洞道內冷卻系統之設計，以提高送電容量，就成為重要課題。又本公司目前正規劃國內第一條 161KV 海底電纜(台澎間海域段約 55 公里)其敷設之技術與陸上佈纜方式不同，需吸取相關技術與經驗。

本次承蒙長官的厚愛，得以有機會前往日本實習「超高壓地下電纜直井佈設、長尺電纜特殊延放工法及海底電纜技術」，並藉此機會就工作而來重整思維以利工程之推展，學習他人的長處與技術。「他山之石、可以攻錯」，由本次實習所獲取的資料與見聞，來改善目前地下電纜遭遇的窘境，並可從另一角度來規劃設計地下電纜線路。

另在此次實習過程中，日本關西電力公司的員工在在表現出對地下電纜工作的執著與研究精神，以及施工時對現場環境的維持及工安的落實，值得自我成長與學習的地方。

二、建議

- (一)六輸計畫，大台北區域內 345KV 地下電纜線路，除松湖~大安~古亭~深美線外，尚有核一~汐止一進一出松湖線、核二~仙渡線及頂湖~仙渡線等，該些工程具有深直井、潛盾洞道、長尺電纜之特色，均屬委外規劃設計服務工作，面臨新領域之到來，相關土木、機電工程不論在設計、施工、監造管理之技術，應妥善、有計劃的轉移與訓練。
- (二)長尺電纜延放現場之配置範圍比現行施工方式大很多，又延放人力、接續技術人力充足與否，直接影響地下電纜線路興建進度。因此洞道容量、延線地點、技術人力與施工進度息息相關，技術服務工作之承攬商應妥為規劃、評估，期以如期加入系統。
- (三)特殊或大型計畫工程，應著重包裝。即事前做好工程概況之資料、模型等，以為施工中簡報或受參訪時使用，甚可將完整資料保留存檔。
- (四)松湖~大安~古亭~深美 345KV 線，其冷卻設備可依實際佈纜時程漸次地擴充，可降低初設、整體成本，並有利財務調度。冷卻系統擴充的最佳時機，可經由運轉開始後監控洞道內空氣溫度變化、傳輸電纜電流的變化、冷卻循環水溫度變化，及冷卻循環水系統的流率變化等因素決定之。

(五)民眾對於生活環境、環保觀念的提升，相對高漲的民意，興建變電所、輸電線路均以影響其權益，屢遭反對、抗爭。以日本關西電力公司南港火力發電廠敦親睦鄰方式為例，供日後建設參考。即於發電廠入口處興建一座電力城，主要提供 1.展示館，藉由展示讓民眾學習、瞭解電的相關常識、知識。2.棒球場、網球場、遊樂場等設施，供民眾運動、休閒。3.電廠週圍設綠帶做為步道。詳圖 6-1 及圖 6-2。



圖 6-1 電力城簡介小冊



圖 6-2 電力城入口處

另發電廠之煙囪建設成一地標，利用太陽能系統，於夜間轉換成照明用能源，並依四季展現出不同之色澤，詳圖 6-3。



圖 6-3 照明煙囪